



EggeMOORE



Schutz- und Entwicklungskonzept der Moor- Lebensräume im südlichen Eggegebirge

Hydrogeologischer Fachbeitrag



Juni 2016

- Bearbeitungsteam -



Prof. Dr. Thomas Kaiser
Landschaftsarchitekt und Diplom-Forstwirt
alw Arbeitsgruppe Land & Wasser
Am Amtshof 18 29355 Beedenbastei (Lkr. Celle)
Fon 0 51 45 / 25 75 Fax 0 51 45 / 28 08 64
Email: Kaiser-alw@t-online.de www.Kaiser-alw.de



Heidt + Peters
Die Ingenieure
Sprengerstraße 38 c
29223 Celle

- Projektträger -



Ministerium für Klimaschutz, Umwelt,
Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen



Landesbetrieb Wald und Holz
Nordrhein-Westfalen



Projektbearbeitung

Hydrogeologischer und wasserbaulicher Teil

Dr. LUDGER MEYER, Diplom-Geologe, Dr.-Ing.

FRANK GRIES, Diplom-Ingenieur (FH)

Celle, den 25.06.2016

Dr. Ludger Meyer

Titelfoto: Dr. Ludger Meyer

Inhalt

Seite

1.	Einleitung und Aufgabenstellung	9
2.	Naturräumliche Gegebenheiten	10
2.1	Geographie	10
2.2	Klima	10
2.3	Hydrologie	11
2.4	Hydrogeologie	11
3.	Felduntersuchungen	15
3.1	Geländehöhen	15
3.2	Wasserwirtschaft	15
3.2.1	Grundwasser	15
3.2.2	Oberflächenwasser	16
3.2.3	Klima	16
4.	Systemverhältnisse und –zustand	17
4.1	Klima	17
4.2	Torfkörper	19
4.3	Grundwasser	21
4.3.1	Lockergestein und Torfkörper	22
4.3.2	Festgestein	24
4.4	Wasserhaushalt	25
4.5	Zusammenfassende Gebietsbeschreibungen	29
4.5.1	Eselsbett und Schwarzes Bruch	29
4.5.2	Sauerbachtal	30
5.	Wasserbauliche Planung	31
5.1	Grundsätzliches	31
5.2	Eselsbett	31
5.3	Schwarzes Bruch	34
5.4	Sauerbachtal	38
6.	Ausführung der Bauwerke	39
6.1	Moordammsystem	39
6.2	Grabenkammerungen	42
6.3	Dichtungswand	45
6.4	Kostenschätzung	47
7.	Prognose zum Wasserhaushalt	49
7.1	Eselsbett	49
7.2	Schwarzes Bruch	51
7.3	Prognose zur Moorwasserstandsaufhöhung	51
7.4	Auswirkungen auf konkurrierende Nutzungen	55

8.	Wasserwirtschaftliches Monitoringkonzept	57
9.	Zusammenfassung	62
10.	Quellenverzeichnis	66

Verzeichnis der Tabellen

	Seite
Tab. 4-1: Jahresniederschlagsverteilungen von Messstationen im Projektgebiet (IABG) und im weiteren Umfeld (WOL Sudheim, DWD Bad Lippspringe).....	17
Tab. 4-2: Torfmächtigkeiten in den fünf im Sauerbachtal gelegenen Teilgebieten (Zuordnung der Teilgebietsnummern siehe Anlage 3-1c und 3-1d)	21
Tab. 4-3: Abflusssummen für vier Teilgebiete. Die Messreihe zu "Schwarzes Bruch Abfluss Südwest" ist unvollständig (Messreihe: Nov 2014 bis Mrz 2015).....	27
Tab. 4-4: Gebietsabflussspenden zu drei Teilgebieten. Betrachtungszeitraum April 2014 bis März 2015. Die Messreihe zu "Schwarzes Bruch Abfluss Südwest" ist unvollständig (Nov 2014 bis Mrz 2015).....	28
Tab. 5-1: Auflistung der im Eselsbett geplanten Dammbaumaßnahmen.....	32
Tab. 5-2: Auflistung der im Eselsbett geplanten Grabenkammerungen.	33
Tab. 5-3: Auflistung der im Schwarzes Bruch geplanten Graben-Kammerungen.....	35
Tab. 5-4: Auflistung der im Schwarzes Bruch geplanten Dammbaumaßnahmen.	37
Tab. 7-1: Herleitung der prognostizierten Moorwasserstandsanhörungen im Eselsbett und im Schwarzes Bruch.....	53
Tab. 8-1: Monitoring-Messnetz Moorwasser und Grundwasser mit der Empfehlung von Messintervallen.	59
Tab. 8-2: Monitoring-Messnetz Oberflächenwasser mit der Empfehlung von Messintervallen.....	60

Verzeichnis der Abbildungen

Seite

Abb. 2-1a:	Eselsbett - Ausschnitt der Geologischen Karte GK25 4319 Lichtenau.....	12
Abb. 2-1b:	Schwarzes Bruch - Ausschnitt der Geologischen Karte GK25 4319 Lichtenau	12
Abb. 2-1c:	Sauerbachtal - Ausschnitt der Geologischen Karte GK25 4319 Lichtenau.....	13
Abb. 2-1d:	Geologische Legende zu den Abbildungen 2.1a bis c.	13
Abb. 3-1:	Abflussmessstelle OW 1-1 im Odenheimer Bach	16
Abb. 4-1:	Lufttemperatur im Monatsmittel - Messstation IABG	18
Abb. 4-2:	Niederschlagsverteilungen von Messstationen im Projektgebiet (IABG) und im weiteren Umfeld (WOL Sudheim, DWD Bad Lippspringe).....	19
Abb. 4-3:	Monatliche Abflusswerte zu den Teilgebieten	26
Abb. 4-4:	Oberirdische Einzugsgebiete der Teilgebiete Eselsbett (A) sowie Schwarzes Bruch Abfluss Nord (B) und Schwarzes Bruch Abfluss Südwest (C).	28
Abb. 6-1a:	Errichtung eines Torfdammes, aufgelöst in fünf Einzelschritten, hier die Einzelschritte a bis c.....	40
Abb. 6-1b:	Errichtung eines Torfdammes, aufgelöst in fünf Einzelschritte, hier die Einzelschritte d und e	41
Abb. 6-2:	Wasserstandsteuerung über ein regulierbares Rohrsystem (Aus: EU- Lifeprojekt Großes Torfmoor. Bearbeiter: Umweltplanung Belting)	42
Abb. 6-3:	Grabenkammerung im Längsschnitt, aufgebaut auf der Grabensohle (Aus: BAFU 2009).....	43
Abb. 6-4:	Grabenkammerung im Längsschnitt mit einem ausgebaggerten Querschlag für den Einbau der Holzspundwand (Aus: BAFU 2009)	44
Abb. 6-5:	Prinzipskizze zu einer Grabenkammerung mit einer Holzspundwand. Bauzustand vor dem Abdecken mit Torf / Bodenmaterial (Aus: BAFU 2009).	44
Abb. 6-6:	Einbau einer Holzspundwand für eine Grabenkammerung. Noch vor der Abdeckung mit Torf / Bodenmaterial (Aus: Baudirektion Kanton Zürich 2009)	45
Abb. 6-7:	Einrichtung einer Holzspundwand (Aus: BAUDIREKTION KANTON ZÜRICH 2009)	46
Abb. 6-8:	Einrichtung einer Dichtungswand mit Kunststoffelementen (Aus: Kanton Bern 2012).....	47
Abb. 7-1:	Abtrennung des grundwasserbürtigen Abflussanteils A_u von dem Gesamtabfluss A_{Ges} im Eselsbett.....	50
Abb. 7-2:	Tiefenfunktion (Z) der entwässerbaren Porosität (P^*) für das Akrotelm, Kurven 6 bis 12: Werte verschiedener Hochmoor- vegetationen (bzw. Torfarten); Kurven 1 bis 5: Seggentorfe (nieder- moortypisch). Verändert nach Ivanov 1975 in Succow & Joosten 2001.....	52
Abb. 8-1:	Messnetz-Lageplan zu den Teilgebieten des Sauerbachtals.	58

Anhang

Anhang 1:	Moorsondierprofile
Anhang 2.1:	Bohrprofil und Ausbau - Grundwassermessstellen Flach
Anhang 2-2:	Bohrprofil und Ausbau - Grundwassermessstellen Tief
Anhang 3:	Messnetz - Stammdaten
Anhang 4.1:	Ganglinien - Grundwassermessstellen Flach
Anhang 4-2:	Ganglinien - Grundwassermessstellen Tief
Anhang 4-3:	Ganglinien - Oberflächenwassermessstellen
Anhang 4-4:	Funktionskurve zur Abflussmessstelle 1-3

Karten

Anlage 1:	Lageplan	M. 1 : 6.000
Anlage 2-1a:	Geländemodell - Eselsbett	M. 1 : 2.000
Anlage 2-1b:	Geländemodell - Schwarzes Bruch	M. 1 : 4.000
Anlage 2-1c:	Geländemodell - Sauerbachtal - Westteil	M. 1 : 2.500
Anlage 2-1d:	Geländemodell - Sauerbachtal - Ostteil	M. 1 : 2.500
Anlage 2-2a:	Geländeprofile - Sauerbachtal, Teilgebiet 4	M. 1 : 200 / 100
Anlage 2-2b:	Geländeprofile - Sauerbachtal, Teilgebiet 5	M. 1 : 200 / 100
Anlage 2-2c:	Geländeprofile - Sauerbachtal, Teilgebiet 6	M. 1 : 200 / 100
Anlage 2-2d:	Geländeprofile - Sauerbachtal, Teilgebiet 7	M. 1 : 200 / 100
Anlage 2-2e:	Geländeprofile - Sauerbachtal, Teilgebiet 8	M. 1 : 200 / 100
Anlage 3-1a:	Torfmächtigkeitsverteilung - Eselsbett	M. 1 : 2.000
Anlage 3-1b:	Torfmächtigkeitsverteilung - Schwarzes Bruch	M. 1 : 4.500
Anlage 3-1c:	Torfmächtigkeitsverteilung - Sauerbachtal, Westteil	M. 1 : 2.500
Anlage 3-1d:	Torfmächtigkeitsverteilung - Sauerbachtal Ostteil	M. 1 : 2.500
Anlage 4-1a:	Eselsbett - Grundwasserstandsverhältnisse im Locker- gestein / Torfkörper. Stand: August 2014	M. 1 : 2.000
Anlage 4-1b:	Eselsbett - Grundwasserstandsverhältnisse im Fest- gestein. Stand: Juni 2014	M. 1 : 2.500
Anlage 4-2:	Schwarzes Bruch - Grundwasserstandsverhältnisse im Lockergestein / Torfkörper. Stand: August 2014	M. 1 : 4.000
Anlage 5:	Wasserbauliche Maßnahmen - Eselsbett	M. 1 : 2.000
Anlage 6:	Wasserbauliche Maßnahmen - Schwarzes Bruch	M. 1 : 3.000
Anlage 7:	Beweissicherung Eselsbett	M. 1 : 3.500
Anlage 8:	Eselsbett - Prognostizierter Flurabstand	M. 1 : 2.000
Anlage 9:	Schwarzes Bruch - Prognostizierter Flurabstand	M. 1 : 3.000

1. Einleitung und Aufgabenstellung

Die Biologische Station Kreis Paderborn - Senne e.V. hat das Planungsbüro ALW - Prof. Dr. Kaiser am 20.12.2013 damit beauftragt, für das EU-LIFE-Projekt "Eggemoore - Schutz und Entwicklung der Moor-Lebensräume im südlichen Eggegebirge" ein Schutz- und Entwicklungskonzept auszuarbeiten. Das Planungsbüro ALW hat die Ingenieurgesellschaft Heidt + Peters mbH als Subunternehmer mit der Ausarbeitung des Hydrogeologischen Fachbeitrags beauftragt.

Der Hydrogeologische Fachbeitrag sieht Untersuchungen zum Hydrogeologischen Aufbau sowie zum Systemzustand in Hinblick auf Torfkörper, Grundwasser-Verhältnisse und Wasserhaushalt vor. Weiterhin sind auf der Grundlage von amtlichen Höhendaten und Vermessungsarbeiten zu den Teilgebieten Geländemodelle auszuarbeiten. Auf dieser Datenbasis ist dann ein wasserwirtschaftliches Maßnahmenkonzept auszuarbeiten.

Mit den Informationen aus dem Hydrogeologischen Fachgutachten sowie der Biotopkartierung und den Vegetationsaufnahmen ist dann die Zielkonzeption zu erstellen.

Anschließend wird das wasserbauliche Planungskonzept konkretisiert und dazu ein wasserwirtschaftliches Monitoringkonzept ausgearbeitet.

2. Naturräumliche Gegebenheiten

2.1 Geographie

Das Bearbeitungsgebiet befindet sich etwa 18 km südöstlich von Paderborn in der Nähe der Ortschaft Lichtenau und östlich der nach Kleinenberg führenden Bundesstraße B68.

Das Gebiet ist geprägt von dem hier in Nord-Süd-Richtung verlaufenden und bis zu etwa 460 m aufragenden Eggegebirge. Auf dessen Westflanke befindet sich das Bearbeitungsgebiet, welche sich in die Teilgebiete Eselsbett, Schwarzes Bruch und Sauerbachtal untergliedert. Während das Eselsbett von Offenland umgeben ist, sind die beiden weiteren Teilgebiete in Waldflächen eingebettet.

Das Geländeniveau im ca. 11 ha großen Eselsbett verläuft entlang der Ostseite auf etwa 327 bis 333 mNN und fällt von hier in westlicher Richtung deutlich ab. Am Westrand betragen die Geländehöhen dann nur noch etwa 322 bis 320 mNN. Das Schwarze Bruch befindet sich in einer ungefähr in Nord-Süd-Richtung verlaufenden Geländesenke. Im mit ca. 22 ha größeren Südteil ist das Gelände relativ eben ausgebildet mit Geländeniveaus in der Bandbreite von etwa 341 bis 342 mNN. Im ca. 8 ha umfassenden Nordteil steigt das Gelände deutlich nach Südwesten auf bis zu etwa 344 mNN an. Am Nordwestrand ist mit etwa 338 mNN der Geländetiefpunkt gegeben. Die im Sauerbachtal gelegenen weiteren fünf kleinen Teilgebiete, die Gebietsgrößen von ca. 0,09 ha bis 0,63 ha umfassen, liegen hier auf Geländeniveaus von etwa 317,5 mNN (Westteil) bis etwa 328,5 mNN (Ostteil).

2.2 Klima

Nordrhein-Westfalen gehört zur gemäßigten Klimazone Mitteleuropas im Bereich der Westwindzone und befindet sich im Übergangsbereich zwischen dem maritimen Klima in Westeuropa und dem kontinentalen Klima in Osteuropa. Das Klima ist im Projektgebiet gemäßigt kontinental mit schwachen subatlantischen Einflüssen.

2.3 Hydrologie

Die Vorflut im Bearbeitungsgebiet ist auf die Sauer ausgerichtet, welche im Sauerbachtal entspringt, zunächst nach Westen fließt und dann in nordwestlicher Richtung verschwenkt. Nördlich von Lichtenau ist die Sauer nach Norden ausgerichtet.

Während der südliche Teil im Schwarzes Bruch weiter südlich an dem Gut Bülheim in die Sauer mündet, wird der mittlere und nördliche Teil über ein nach Norden verlaufendes Grabensystem entwässert. Dieses verläuft nach Querung der K26 nach Nordwesten und mündet unterhalb vom Eselsbett in den Odenheimer Bach. Der Odenheimer Bach, welcher östlich des Eselsbetts entspringt, ist Hauptvorfluter für dieses Gebiet, quert es am Nord- und Nordwestrand und mündet in Lichtenau in die Sauer.

Entlang einiger Abschnitte dieses Vorflutersystems sind Teiche angelegt, so im Schwarzes Bruch auf der Westseite des nördlichen Teils sowie südlich vom Eselsbett.

2.4 Hydrogeologie

Auf der Grundlage der Geologischen Karte GK25 4319 Blatt Lichtenau ist auf den Abb. 2-1a bis c der hydrogeologische Bau der Projekt-Teilgebiete dargestellt. Danach ist festzustellen, dass die geomorphologischen Verhältnisse geprägt sind von Festgestein der Kreide-Zeit, welches oberflächennah ansteht.

Weiträumig ist das Festgestein von einer nur dünnen Quartär-zeitlichen Lockergesteinsdecke (< 2 m) überdeckt. Nur in den Talbereichen von Sauerbach und Odenheimer Bach sowie im weiteren Umfeld vom Eselsbett sind Quartär-zeitliche Überdeckungen mit Mächtigkeiten von > 2 m vorhanden. Bei der Überdeckung handelt es sich um Torf, Auenlehm (L,ta), Schwemmlehm (,u) und Fließerde (,fl).

In dem von Bruchschollentektonik geprägten Bearbeitungsgebiet sind die Kreide-Festgesteinskomplexe entlang von Verwerfungslinien abgeschoben, d. h., in die Tiefe verstellt worden. Wie den begleitenden Unterlagen zu der Geologischen Karte zu entnehmen ist, fallen die Gesteinsschichten im Gebiet Eselsbett tendenziell nach Westen ein, im Gebiet Schwarzes Bruch ist eine annähernd waagerechte Lagerung gegeben. Dies dürfte auch im westlichen Abschnitt des Sauerbachtals der Fall sein. Östlich einer hier das Sauerbachtal querenden Abschiebung fallen die Gesteinsschichten nach Westen ein.

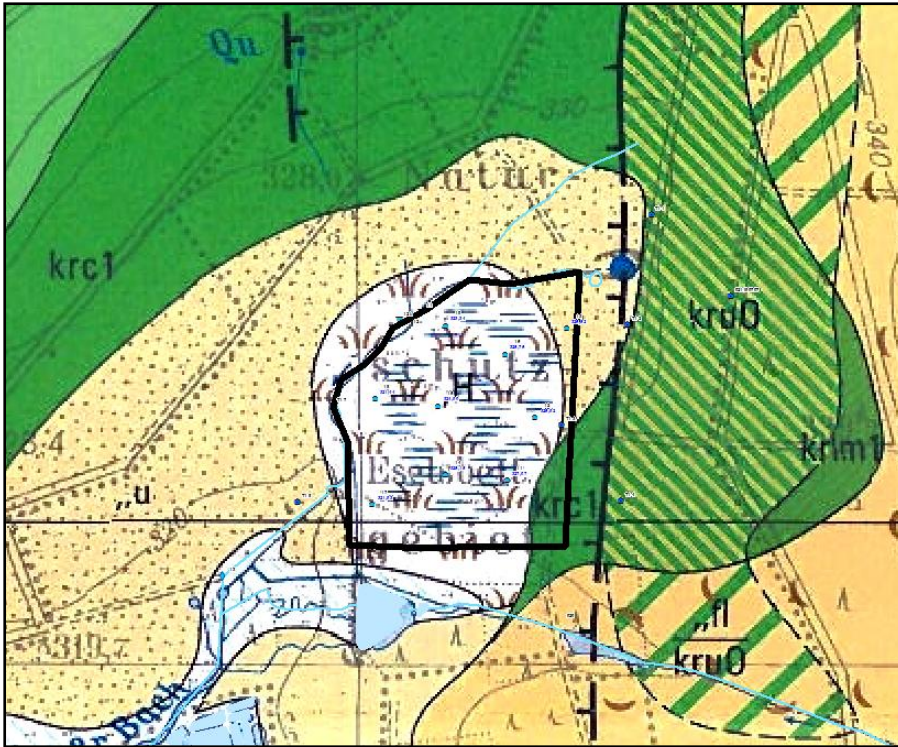


Abb. 2-1a: Eselsbett - Ausschnitt der Geologischen Karte GK25 4319 Lichtenau

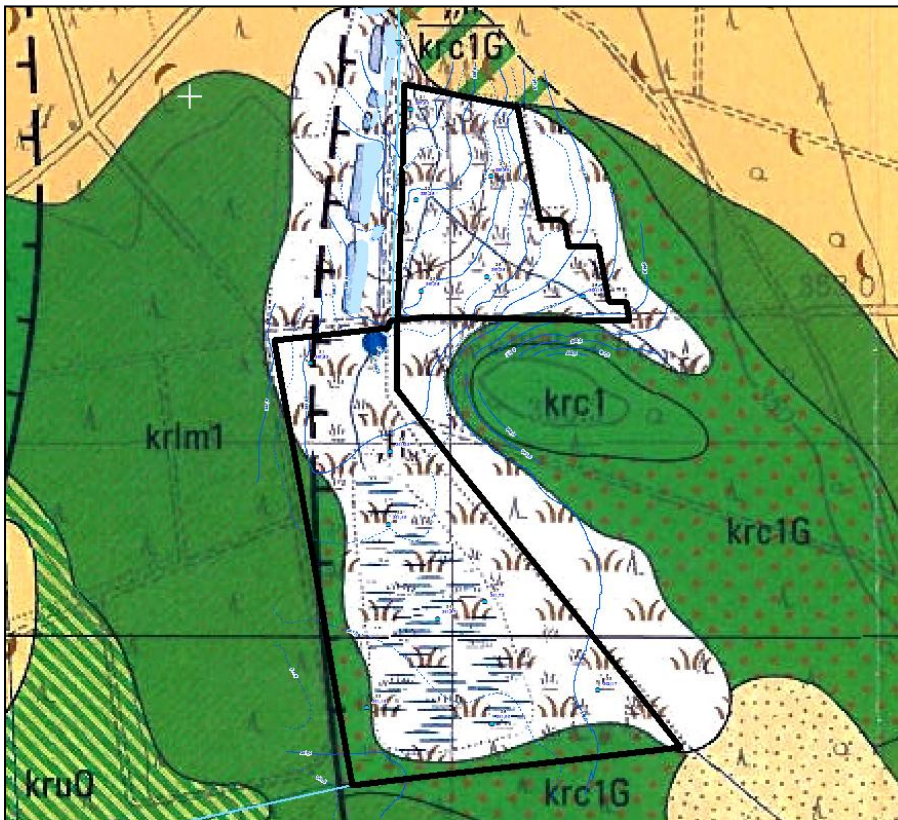


Abb. 2-1b: Schwarzes Bruch - Ausschnitt der Geologischen Karte GK25 4319 Lichtenau

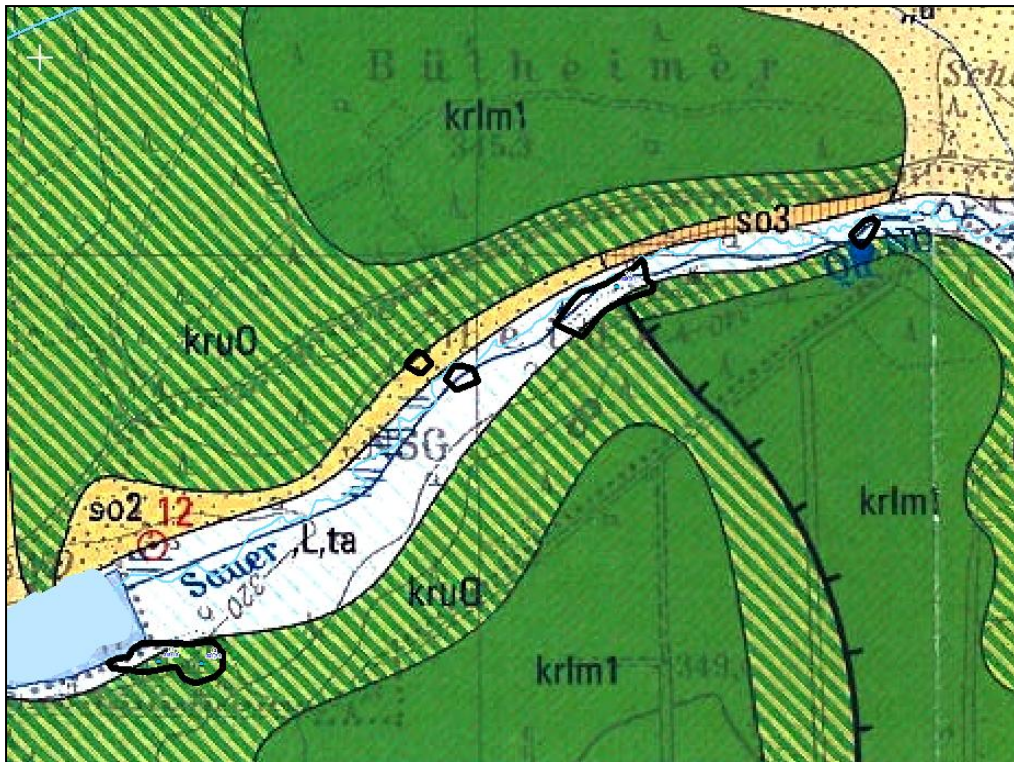


Abb. 2-1c: Sauerbachtal - Ausschnitt der Geologischen Karte GK25 4319 Lichtenau

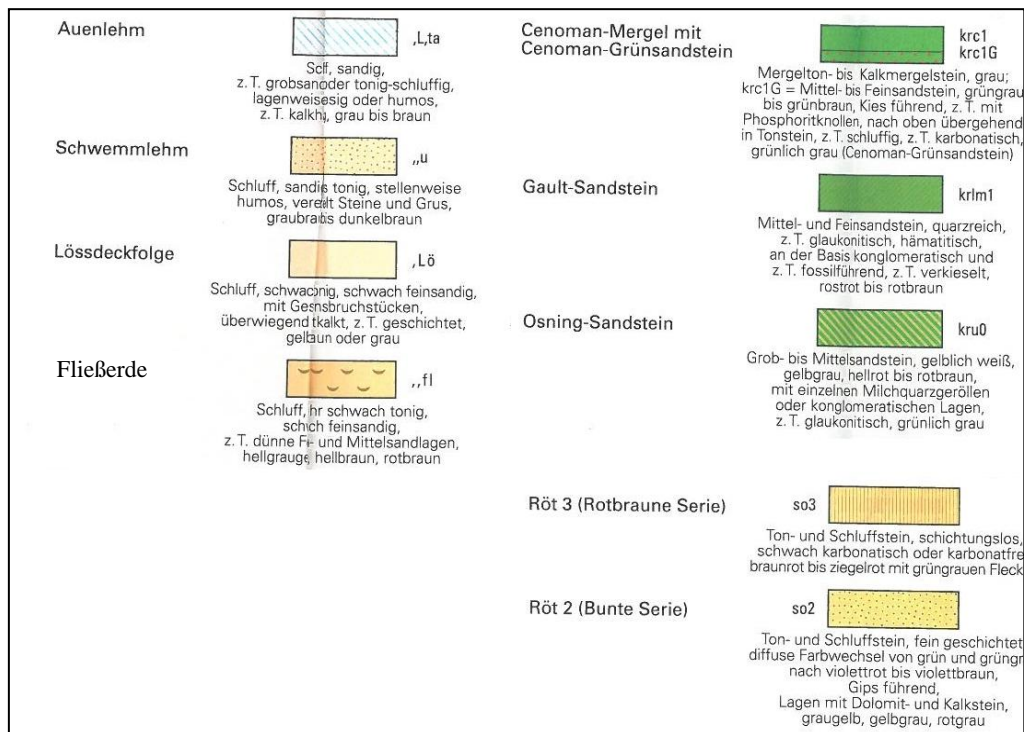


Abb. 2-1d: Geologische Legende zu den Abbildungen 2-1a bis c

Der oberflächennahe Wasserhaushalt der Teilgebiete wird wesentlich geprägt durch die geohydraulischen Eigenschaften des Festgesteinkörpers und die weiträumige Erstreckung der unterirdischen Einzugsgebiete. In den drei Teilgebieten stehen Kreidezeitliche Sandstein-Komplexe in Form des Gault- und Osning-Sandsteins an. Nach der Hydrogeologischen Karte Blatt L4318 Paderborn bilden diese Sandsteine einen zusammenhängenden Grundwasserleiter. Das Grundwasser bewegt sich hierbei überwiegend in einem gut wasserleitenden Kluftsystem. Das weniger gut wasserwegsame Porensystem des Sandsteins stellt einen guten Speicher dar, welcher sein Wasser quasikontinuierlich abgibt. So ist dann auch in dem grundwasserneubildungsarmen Sommerhalbjahr an den Quellaustritten dieses hydrogeologischen Systems eine stetige Grundwasserexfiltration gegeben. Dies ist ein begünstigender Faktor für die Standorteigenschaften von Extremstandorten wie Mooren.

Die ältesten Festgesteinsschichten stehen im Sauerbachtal rechtsseitig an (siehe Abb. 2-1c). Dies sind Schichten des Oberen Buntsandstein der Serien Röt 2 und Röt 3. Aufgebaut werden diese von Ton- und Schluffstein. Aufgrund ihrer wasserstauenden Eigenschaften tritt das in dem auflagernden Osning-Sandstein (kruO) zirkulierende Grundwasser hier bevorzugt zu Tage.

3. Felduntersuchungen

3.1 Geländehöhen

Im Rahmen dieses Projektes wurden in den Teilgebieten die Geländehöhen aufgenommen. Hierbei ist in den Teilgebieten Eselsbett und Schwarzes Bruch eine flächenhafte Vermessung durchgeführt worden. In den Teilgebieten des Sauerbachtals wurden jeweils Profilschnitte in Längs- und Querrichtung aufgenommen.

Für die Erstellung der Geländemodelle für die Teilgebiete Eselsbett und Schwarzes Bruch sind die Detailvermessungsdaten mit Höhendaten aus dem amtlichen Höhenmodell DGM1 ergänzt worden.

3.2 Wasserwirtschaft

Für die Erkundung des Wasserhaushaltes und der Grundwasserverhältnisse ist im Bearbeitungsgebiet ein Messnetz zur Erfassung der Oberflächen- und Grundwasserverhältnisse (s. Anlage 1) sowie des Klimas eingerichtet worden.

3.2.1 Grundwasser

Im Torfkörper sind insgesamt 26 Grundwassermessstellen mit einem 2"-Ausbau eingerichtet und jeweils mit Datenlogger zur quasikontinuierlichen Erfassung der Grundwasserstände ausgestattet worden. Die Bohrprofile und Ausbauten sind dem Anhang 2-1 zu entnehmen. Am Eselsbett ist ergänzend die Grundwassermessstelle T1-3 im Festgestein ausgebaut worden (siehe Anhang 2-2). Im Rahmen einer ehemaligen Grundwassernutzung durch die Gemeinde Lichtenau über einen unmittelbar südlich vom Eselsbett im Festgestein ausgefilterten Förderbrunnens sind hier insgesamt acht Grundwassermessstellen (GWMS) im Festgestein eingerichtet worden. Die heute noch intakten sieben GWMS sind in das Messprogramm aufgenommen worden. Dabei wurden die GW-Stände durch Handmessungen in einem 2-wöchentlichen Intervall erfasst.

3.2.2 Oberflächenwasser

Um das Abflussgeschehen im Jahresgang zu erfassen, sind in dem Vorflutersystem insgesamt fünf Thomson-Überfallwehre und ein Lattenpegel eingerichtet worden. Die Herleitung einer Wasserstand-/Abflussbeziehung zu dem Lattenpegel-Standort OW 1-3 erfolgte über Abflussmessungen. Vier der Thomson-Überfallwehre sind jeweils mit Datenlogger ausgestattet. Eines dieser vier Messwehre (OW 3-1) wurde erst am 28.10.2014 im Teilgebiet Schwarzes Bruch - Südteil eingerichtet. Der hier eingebaute Datenlogger ist aus der GW-Messstelle 1-1 (Eselsbett) abgezogen worden.



Abb. 3-1: Abflussmessstelle OW 1-1 im Odenheimer Bach

3.2.3 Klima

Für die messtechnische Erfassung des klimatischen Geschehens hat der Projektträger auf dem Gelände der IABG am 16.07.2014 eine Wetterstation eingerichtet. Diese erfasst die Parameter Niederschlag und Lufttemperatur. Ergänzend sind die Daten der etwa 3 km weiter westlich platzierten Niederschlagsstation Sudheim (Betreiber: Wasserverband Obere Lippe) sowie der vom DWD betriebenen und etwa 20 km weiter nördlich gelegenen Klimastation Bad Lippspringe eingesetzt worden.

4. Systemverhältnisse und -zustand

4.1 Klima

Diese eingesetzten Niederschlag- bzw. Klimastationen befinden sich auf Geländehöhen von 340 mNN (IABG), 311 mNN (Sudheim) und 157 mNN (Bad Lippspringe). Aufgrund der unmittelbaren Nachbarschaft (3 km) und einer ähnlichen Geländehöhe wie im Projektgebiet (320 bis 340 mNN) sollte die Wetterstation Sudheim für das Projektgebiet repräsentative Messwerte liefern. Die zu der Station IABG nur unvollständig vorliegende Niederschlagszeitreihe (16.07.2014 bis 18.03.2015) wurde durch Zeitreihendaten der Station Sudheim vervollständigt.

Zeitfenster	Niederschlag [mm/a]		
	IABG	WOL Sudheim	DWD Bad Lippspringe
Apr 2014 bis Mrz 2015	878	825	874
Winterhalbjahr	375	380	368
Sommerhalbjahr	503	445	506
Jahresmittelwert 2004 bis 2014		851	889

Tab. 4-1: Jahresniederschlagsverteilungen von Messstationen im Projektgebiet (IABG) und im weiteren Umfeld (WOL Sudheim, DWD Bad Lippspringe).

In der Tab. 4-1 sind zu diesen drei Stationen die Niederschlagshöhen für das Betrachtungsjahr aufgeführt. Danach sind im Projektgebiet 878 mm (IABG) an Niederschlag gefallen. Die Niederschlagshöhen der benachbarten Stationen Sudheim und Bad Lippspringe von 825 und 874 mm liegen auch in dieser Größenordnung und bestätigen somit die Messwerte der IABG-Station.

Für das 11-jährige Mittel von 2004 bis 2014 betragen die Niederschlagshöhen an den Stationen Sudheim und Bad Lippspringe 851 und 889 mm. Danach ist das Betrachtungsjahr als ein klimatologisch und auch wasserwirtschaftlich durchschnittliches Jahr einzuordnen.

Extremstandorte wie Hochmoore benötigen im Sommerhalbjahr hohe Niederschläge und gemäßigte Temperaturen. Wie der Tab. 4.1 zu entnehmen ist, sind die sommerhalbjährlichen (Mai bis Okt) Niederschlagshöhen an den drei Stationen jeweils deutlich größer als im Winterhalbjahr (Nov bis Apr). Im Projektgebiet ist der Sommerniederschlag um 34 % größer als der im Winter.

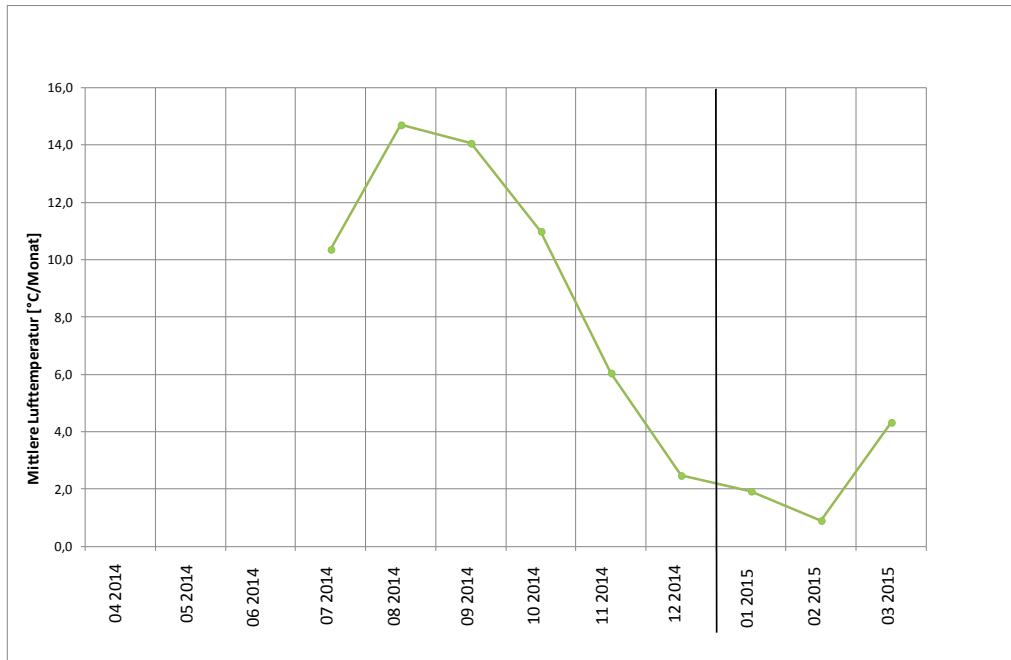


Abb. 4-1: Lufttemperatur im Monatsmittel - Messstation IABG.

Die mittleren monatlichen Lufttemperaturen schwanken im Projektgebiet im Betrachtungsjahr in der Bandbreite von 0,9 bis 14,7 °C (s. Abb. 4.1). Die Bandbreite der mittleren Tageswerte beträgt -4,2 bis 24,8 °C. Die tiefsten Temperaturen treten erwartungsgemäß in den Monaten Januar und Februar auf.

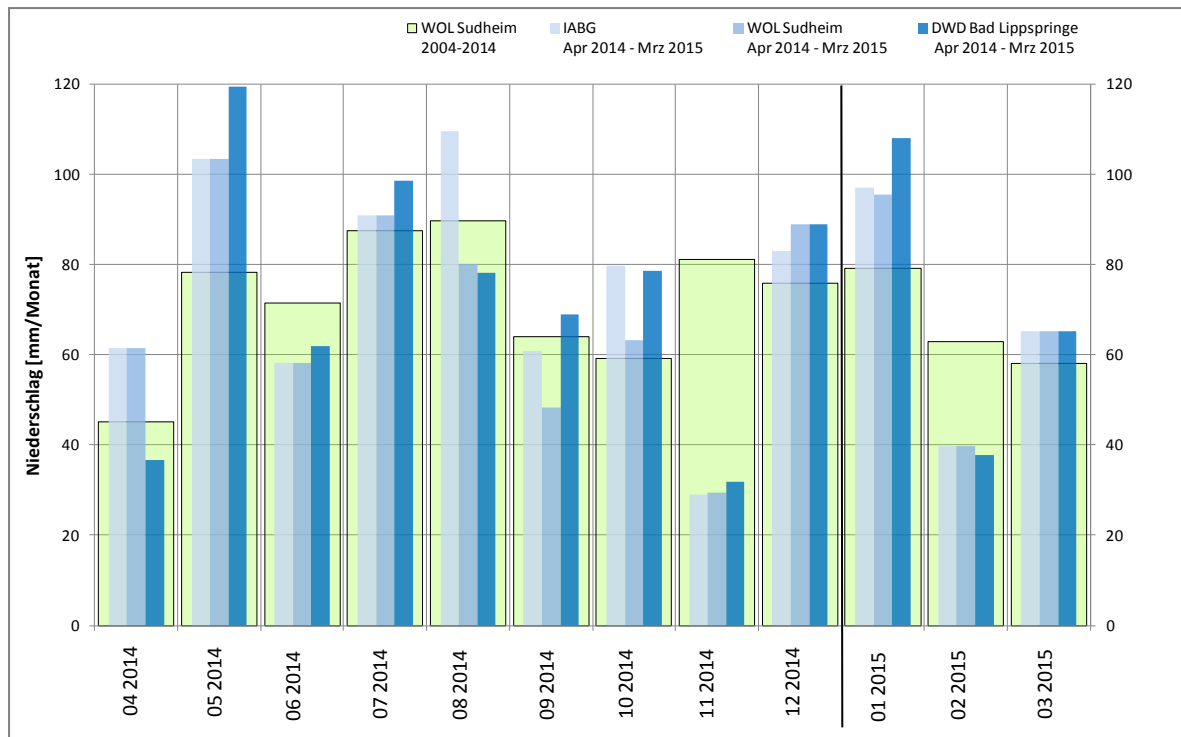


Abb. 4-2: Niederschlagsverteilungen von Messstationen im Projektgebiet (IABG) und im weiteren Umfeld (WOL Sudheim, DWD Bad Lippspringe).

Die monatlichen Niederschlagshöhen im Betrachtungsjahr weisen in vielen Monaten eine mit dem langjährigen Mittel (2004 bis 2014) vergleichbare Größenordnung auf (siehe Abb. 4.2). In einigen Monaten waren jedoch deutliche Unter- bzw. Überschreitungen gegeben. So wird im Mai 2014 das langjährige Mittel von 78 mm im Projektgebiet mit 103 mm (IABG) deutlich überschritten. Vergleichsweise trockene Verhältnisse waren in den Monaten Nov 2014 und Feb 2015 gegeben, wo mit 29 mm bzw. 40 mm nur 36 bzw. 63 Prozent des langjährigen Mittels an Niederschlag (81 bzw. 63 mm) gefallen sind.

4.2 Torfkörper

Die Moorsondierungen sind im Februar 2014 durchgeführt worden. Im Anhang 1 sind die betreffenden Moorsondierprofile dokumentiert. Anhand der auf mNN hergeleiteten Torfkörperbasis und dessen Verschneidung mit der Geländeoberkante (Geländemodell in mNN) sind dann rechnerisch die Torfkörper-Mächtigkeiten ermittelt worden. Deren Verteilung ist in den Anlagen 3-1 dargestellt.

Im Eselsbett und Schwarzes Bruch ist in der Vergangenheit großflächig Torf abgebaut worden. Das Stichrelief ist u.a. durch den Torfschwund entlang der Abfuhrdämme heute nicht mehr ausgeprägt. In beiden Teilgebieten sind nur die randlichen Bereiche von der Abtorfung verschont geblieben.

Die obersten 0,10 bis 0,20 m des Torfkörpers bestehen in der Regel aus einer Weißtorfauflage. Torfbildend sind Sphagnen der Cuspidata-Gruppe. Es sind nährstoff-tolerierende Arten, welche Schlenken-bildend sind und in Übergangsmooren und zum Teil auch in Niedermooeren Verbreitung finden.

Darunter lagert eine stark bis sehr stark zersetzte Schwarztorfauflage. Die Torfe sind genetisch als Hang- und Quelltorfe einzustufen. Auch auf ungestörten Standorten sind diese Torfe hier meist stark zersetzt. Eine Ursache hierfür kann der vergleichsweise hohe Sauerstoffgehalt in zutretendem Quell- und Hangwasser sein.

Im Liegenden der Mooregebiete steht in der Regel ein nur gering wasserdurchlässiges Sediment in Form von Schluff, Fließerde oder stark verwittertem Festgestein an. Diese grundwasserstauende Basis in Verbindung mit oberflächennahen Hang- und Quellwasserzutritten sorgt für einen ganzjährig relativ ausgeglichenen Wasserhaushalt.

Definitionsgemäß ist Moor ab einer Torfmächtigkeit von 0,30 m gegeben. In den Karten der Anlagen 3-1 ist die Torfmächtigkeitsklasse $< 0,30$ m auch farblich dargestellt.

Auf dem 116.000 m² großen Teilgebiet Eselsbett ist auf 70.000 m² Moor ausgebildet. Im zentralen Teil des Eselsbett sind Torfmächtigkeiten von > 1 m gegeben, das Maximum beträgt hier 2,09 m. Im Mittel hat der Torf im Eselsbett-Moor eine Mächtigkeit von 0,75 m.

Im Schwarzes Bruch ist in dem nördlichen und etwa 84.000 m² großen Teilgebiet der Moorkörper nur auf etwa 5.400 m² ausgebildet. Wie der Anlage 3.1b zu entnehmen ist, ist die größte Verbreitung im Westteil gegeben. Das Moor hat in diesem Teilgebiet eine mittlere Torfmächtigkeit von 0,37 m. Die größte Torfmächtigkeit ist mit 0,69 m festgestellt worden.

Im südlichen Teilgebiet vom Schwarzes Bruch, das eine Größe von 223.000 m² hat, ist auf 143.000 m² Moor ausgebildet (siehe Anlage 3.1b). Die maximale Torfmächtigkeit beträgt 1,04 m und im Mittel sind es 0,59 m.

In den fünf Teilgebieten im Sauerbachtal hat in der Vergangenheit offensichtlich kein Torfabbau stattgefunden. Für diese Hangmoore bzw. Quellmoore sind die in der nachfolgenden Tabelle 4-2 aufgeführten Torfmächtigkeiten festgestellt worden.

Gebiets- nummer	Größe	Moorfläche		Torfmächtigkeiten [m]	
	[m²]	[m²]	[%]	Mittelwert	Max
4	6.261	3.199	51	0,60	1,52
5	674	123	18	0,40	0,61
6	1.064	407	38	0,54	1,05
7	5.584	3.846	69	0,65	1,39
8	862	362	42	0,74	1,37

Tab. 4-2: Torfmächtigkeiten in den fünf im Sauerbachtal gelegenen Teilgebieten (Zuordnung der Teilgebietsnummern siehe Anlage 3-1c und 3-1d)

Die Torfmächtigkeiten betragen bis zu 1,52 m und weisen eine Bandbreite von 0,40 bis 0,74 m auf. Die Standorteigenschaften für die Moore in dieser Tallage sind nur suboptimal aufgrund der intensiven Beschattung und den vergleichsweise großen Hangneigungen. Die Hanglage bedingt, dass in dem relativ gut wasserdurchlässigen und in der Regel etwa 0,20 bis 0,30 m mächtigen Akrotelm (Vegetationsschicht) das Bodenwasser schnell ablaufen kann, was den Bodenwasserhaushalt benachteiligt.

4.3 Grundwasser

Im Bearbeitungsgebiet sind flächendeckend zwei Grundwassersysteme ausgebildet. Eines wird von der Quartär-zeitlichen Lockergesteinsdecke aufgebaut, welche weitflächig Mächtigkeiten von nur wenigen Metern aufweist. Unter diesem oberflächennahen Grundwassersystem ist in dem Festgesteinskörper das tiefe Grundwassersystem entwickelt. Im Eselsbett ist in beiden Systemen ein Messstellennetz eingerichtet, weshalb hier beide Systeme erkundet worden sind. Im Schwarzes Bruch und Sauerbachtal sind jeweils nur die Grundwasserverhältnisse des oberflächennahen Systems messtechnisch erkundet worden.

Die über einen Jahresgang (Apr 2014 bis Mrz 2015) in beiden Grundwassersystemen ermittelten Grundwasserverhältnisse sind u. a. über die Ganglinien der Grundwassermessstellen (GWMS) (siehe Anhänge 4-1 und 4-2) und anhand von GW-Standsverteilungen (siehe Anlage 4-1 und 4-2) dokumentiert.

4.3.1 Lockergestein und Torfkörper

Die Ganglinien zu den im Eselbett im Lockergestein/Torfkörper ausgefilterten GWMS zeigen im Jahresgang eine nur geringe Schwankungsbandbreite. Diese beträgt auf der Basis der Monatsmittelwerte etwa 0,40 m. Hierbei ist die sommerhalbjährliche Depression im August am ausgeprägtesten. Diese vergleichsweise geringe Schwankungsbandbreite spricht für einen ausgeglichenen Wasserhaushalt im Lockergestein/Torfkörper. Nur zwei GWMS zeigen ein hiervon deutlich abweichendes Verhalten. So ist zu GW 1-1 eine extrem schnelle und große Reaktion auf Niederschlagsereignisse festzustellen. Die kurzzeitigen Gwsp-Anstiege haben eine Größenordnung von etwa 1 m. Eine mögliche Ursache kann darin liegen, dass hier die Geländeverhältnisse den Zulauf zu der Messstelle begünstigen und die am Brunnenrohr angebrachte oberflächennahe Tonsperre eine direkte Zusickerung entlang des Brunnenrohrs zum Brunnenfilter nicht wirksam unterbindet. Werden die kurzfristigen Ganglinienspitzen außeracht gelassen, dann ist zu GW 1-1 eine Jahresschwankungsbandbreite von etwa 0,75 m festzustellen. Die GW 1-5 zeigt eine Jahresschwankungsbandbreite von nur 0,10 m. Der Grundwasserspiegel (Gwsp) liegt hier ganzjährig annähernd auf Geländeniveau (325,15 mNN). Dies spricht dafür, dass hier auch im Sommerhalbjahr ein stetiger GW-Zustrom dafür sorgt, dass die Verdunstungsverluste kompensiert werden und so der Bodenwasserhaushalt weitestgehend abgesättigt ist.

Im nördlichen Teil vom Schwarzes Bruch zeigen die Ganglinien der GWMS eine Schwankungsbandbreite von im Mittel etwa 0,30 m, wonach auch hier stabile Bodenwasserhaushalt-Verhältnisse gegeben sind. Die Sommerdepression ist hier auch am ausgeprägtesten im Monat August. Im Südteil zeigt die GWMS-Gruppen 3-1, 3-3, 3-5 und 3-8 einen ausgeprägten und natürlichen GW-Standgang in der Größenordnung von im Mittel 0,48 m. Die Sommerdepression ist hier im August bzw. September ausgeprägt. Die Ganglinien der weiteren GWMS 3-2, 3-4, 3-6 und 3-7 reagieren im Jahresgang nur in der Größenordnung von etwa 0,11 m. Deren Gwsp liegen jeweils annähernd auf Geländeniveau. Demnach dürften diese Standorte so wie der von 1-5 (siehe oben) zu charakterisieren sein. So wird auch hier im Sommerhalbjahr der Bodenwasserhaushalt durch einen stetigen GW-Zustrom weitestgehend abgesättigt.

Anhand der Ganglinie von GW 4-1, die im Teilgebiet 4 im Sauerbachtal platziert ist, wird ersichtlich, dass an diesem Standort im Winterhalbjahr über das zuströmende und am Hang austretende Grundwasser der Bodenwasserhaushalt abgesättigt ist und sozusagen der Zustand von "zutage tretendem" Grundwasser gegeben ist. Die Ganglinie verläuft in diesem Zeitfenster annähernd auf dem GOK-Niveau.

Im Sommerhalbjahr reduziert sich der Bodenwasserhaushalt durch zum einen Verdunstungsverluste und zum anderen einen geringeren GW-Zustrom und der Gwsp fällt um bis zu etwa 0,50 m. Auf Regenereignisse reagiert der Gwsp hier aber zeitnah und dies mit einem Anstieg bis auf Geländeniveau. Demnach ist davon auszugehen, dass hier der Bodenwasserhaushalt auch im Sommerhalbjahr weitestgehend abgesättigt ist, was u.a. den Quellmoor- bzw. Hangmoor-Standort erklärt. Die Ganglinie von GWMS 4-2 zeigt ganzjährig einen Gwsp auf Geländeniveau, wonach hier auch im Sommerhalbjahr der GW-Zustrom so groß ist, dass die Verdunstungsverluste kompensiert werden.

Wie bereits ausgeführt, waren im August 2014 die GW-Tiefststände gegeben. Die Größenordnung der Sommerdepression im Wasserhaushalt ist für die Zustandsbeurteilung von Moorsystemen wesentlich, weshalb für den Monat August die flächenhaften GW-Standsverteilungen im Eselsbett und Schwarzes Bruch hergeleitet worden sind (siehe Anlagen 4-1 und 4-2). In zwei Teilgebieten des Sauerbachtals sind jeweils nur eine bzw. zwei GWMS eingerichtet. Hier sind die GW-Standsverhältnisse nur anhand des Ganglinienverlaufes der GWMS zu beurteilen.

Im Eselsbett verläuft die GW-Strömung entsprechend dem Geländegefälle von Osten nach Westen in Richtung auf den Vorfluter Odenheimer Bach. Am Ostrand verläuft die GW-Oberfläche auf etwa 327 bis 329 mNN. Am Westrand entlang des Odenheimer Baches sind es dann nur noch etwa 319 bis 321 mNN. Das Fließgefälle ist mit etwa 2,8 % relativ steil. Über die Verschneidung von GW-Oberfläche und Geländemodell sind die Flurabstände hergeleitet worden. Im Mittel beträgt der Flurabstand 0,40 m. Im Westteil vermindert sich in weiten Bereichen des mittleren Abschnitts der Flurabstand auf Null. Rechnerisch ergeben sich für diese Bereiche negative Flurabstände, was in den betreffenden Anlagen mit "zutage tretendes Grundwasser" gekennzeichnet ist. Solche Gebiete sind durch einen vollständig abgesättigten Bodenwasserhaushalt charakterisiert, was einhergeht mit kleinräumigen Vernässungen. Im Bereich des zentral im Eselsbett ausgebildeten Resttorfrückens (vgl. Anlage 3-1a) treten die größten Flurabstände von bis zu etwa 1,20 m auf.

Im Schwarzes Bruch sind die GW-Strömungsverhältnisse geprägt von dem nach Osten aufragenden Eggegebirge. Von hier strömen sowohl Grundwasser als auch Hangwasser und Interflow (Bodenwasser, noch oberhalb des Grundwasserkörpers) in das Moorgebiet.

Der Nordteil vom Schwarzes Bruch wird von Osten aus dem Eggegebirge als auch von dem unmittelbar südlich angrenzenden und auf 355 mNN aufragenden Kremersberg angeströmt.

Für den Moorwasserhaushalt ist neben dem oberflächennahen Grundwasserzuström auch das zufließende Hangwasser von Bedeutung.

Die GW-Oberfläche verläuft am Ostrand auf einem Höhenniveau von etwa 344 mNN. Mit einer mittleren Neigung von 1,5 % fällt diese bis zum Westrand auf etwa 338 bis 339 mNN ab. Der mittlere Flurabstand beträgt im Nordteil 0,39 m.

Die GW-Strömungsverhältnisse im Südteil sind geprägt von der hier ausgebildeten Senkenstruktur, die sich bedingt durch das östlich aufragende Eggegebirge und dem geringfügigen Geländeanstieg entlang der Westgrenze. Die Nord-Süd ausgerichtete Senkenachse weist ein nur geringes Geländegefälle auf. In dieser Struktur ist der Einstau von Hangwasser und oberflächennahem Grundwasser begünstigt. Der südliche Abschnitt entwässert über einen hier nach Südwesten verlaufenden Graben. Der nördliche Abschnitt entwässert über ein rudimentäres Grabensystem, welches nach Norden zum Odenheimer Bach führt. Die GW-Oberfläche im Südteil des Schwarzes Bruches hat entsprechend der morphologischen Verhältnisse auch ein nur sehr geringes Gefälle. Im mittleren Abschnitt verläuft hier eine Grundwasserscheide, die ungefähr in West-Ost-Richtung verläuft. Das GW-Standsniveau liegt im weiteren Bereich der Grundwasserscheide auf etwa 341,70 mNN. Am Nord- und Südwestrand, wo die entwässernden Grabenstrukturen die Gebietsgrenze queren, hat die Grundwasseroberfläche ein Höheniveau von etwa 340,00 bis 340,50 mNN. Der mittlere Flurabstand beträgt im Südteil 0,31 m. Im zentralen Bereich ergeben sich rechnerisch negative Flurabstände ("zutage tretendes Grundwasser"). Danach waren hier auch im August 2014 ausgeprägt nasse Standortverhältnisse gegeben.

Für die kleinen Teilgebiete im Sauerbachtal war es nicht zielführend, flächenhafte GW-Standsverteilungen herzuleiten. Deren Standorte, die sich am Fuße von Talhängen befinden, sind ausgeprägt quellig. Das zeigt sich deutlich durch die GW-Stände der hier installierten drei GWMS (4-1, 4-2 und 7-1), welche im Jahresgang weitestgehend bzw. durchgängig auf Geländeniveau liegen.

4.3.2 Festgestein

Im Rahmen dieses Projektes ist das im Bereich vom Eselsbett bereits bestehende Festgestein-Messstellennetz noch um die GWMS T1-3 ergänzt worden. Im Anhang 4-2 sind die Ganglinien der Festgestein-Messstellen dargestellt. Auffallend ist der sommerhalbjährliche starke GW-Standsabfall an der GW-Messstelle T1-4. Dies ist nur durch eine künstliche Beeinflussung in Form von z. B. einer relativ kontinuierlichen GW-Entnahme zu erklären. Eine nachteilige Beeinflussung des Moorwasserhaushaltes ist dadurch nicht gegeben.

Abgesehen von dieser GWMS liegt die Schwankungsbandbreite der GW-Stände in den GWMS bei 0,67 bis 1,62 m. Im Mittel sind es 1,12 m. Danach ist die Grundwasseroberfläche im Festgestein relativ stabil ausgebildet, was auf ein für Festgestein vergleichsweise großes nutzbares Porenvolumen sowie einen stetigen Zustrom schließen lässt. Die ehemalige und bis Ende der 1980er Jahre erfolgte Nutzung dieses Grundwasservorkommens zur Trinkwassergewinnung bestätigt diese Erkenntnis.

Für die Herleitung der GW-Oberfläche im Festgesteinssystem (siehe Anlage 4-1b) wurden die im Juni 2014 gemessenen GW-Stände zugrunde gelegt. In diesem Monat zeigt die Ganglinie zu GW T1-4 noch ein natürliches Verhalten. Die GW-Oberfläche ist tendenziell auf das nach Westen verlaufende Tal des Odenheimer Baches ausgerichtet. Im Eselsbett-Gebiet sind die Flurabstände fast ausschließlich deutlich größer als 1,6 m. Der oberflächennahe Wasserhaushalt im Eselsbett ist somit weitestgehend von dem Grundwassersystem im Festgestein entkoppelt. Nur im unmittelbaren Talbereich des Odenheimer Baches vermindern sich die Flurabstände deutlich und eine Zusickerung in den oberflächennahen Bodenkörper ist möglich. Die Abschnitte mit Flurabständen von 0,0 bis 0,2 m deuten an, dass hier der Festgestein-Grundwasserkörper mehr oder weniger intensiv in den Odenheimer Bach entwässert. Für den am Nordrand des Eselsbetts gelegenen Quellbereich ergeben sich rechnerisch negative Flurabstände, was zutage tretendes Grundwasser anzeigt.

4.4 Wasserhaushalt

Für die Ermittlung von Wasserhaushaltsdaten zu den Teilgebieten Eselsbett und Schwarzes Bruch sind in dem Betrachtungsjahr die Abflüsse gemessen worden, dies mit Thomson-Messwehren und einem über Abflussmessungen geeichten Lattenpegel. Im Anhang 4-3 sind die Ganglinien der Messstellen dokumentiert. Weiterhin ist im Anhang 4-4 die Herleitung der Wasserstand-/ Abflussbeziehung an dem Lattenpegel OW 1-3 (Odenheimer Bach) dargestellt. Die Abflussmessstelle OW 3-1 wurde erst am 28.10.2014 in Betrieb genommen, weshalb hierzu keine vollständige Jahresmessreihe vorliegt.

Der im Odenheimer Bach an dem Lattenpegel OW 1-3 ermittelte Abfluss enthält Anteile aus dem rechts- und linksseitigen Einzugsgebiet. Große Anteile des rechtsseitigen bzw. nördlichen Zuflusses zum Odenheimer Bach konnte über die beiden Abflussmessstellen OW 1-2a und 1-2b messtechnisch erfasst werden. Der um diesen nördlichen Anteil bereinigte Abfluss ist in der Abb. 4-3 unter der Bezeichnung Eselsbett dargestellt. Weiterhin ist hier die Ganglinie Eselsbett Quelle dargestellt, welche der oberstromig vom Messstandort OW 1-3 platzierten Messstelle OW 1-1 zugeordnet ist.

Diesen beiden Ganglinien ist zu entnehmen, dass die Quellschüttung am Fuße des Eselsbets ganzjährig eine Größenordnung von mindestens 10.000 bis 20.000 m³/Monat hat. Eine solche gemäßigte Sommerdepression ist zurückzuführen auf einen erheblichen grundwasserbürtigen Abflussanteil. Schon im Oktober 2014 ist dann eine deutliche Abfluss-Zunahme festzustellen. Der Abfluss verbleibt dann bis zum Ende des Betrachtungsjahres auf einem hohen Niveau.

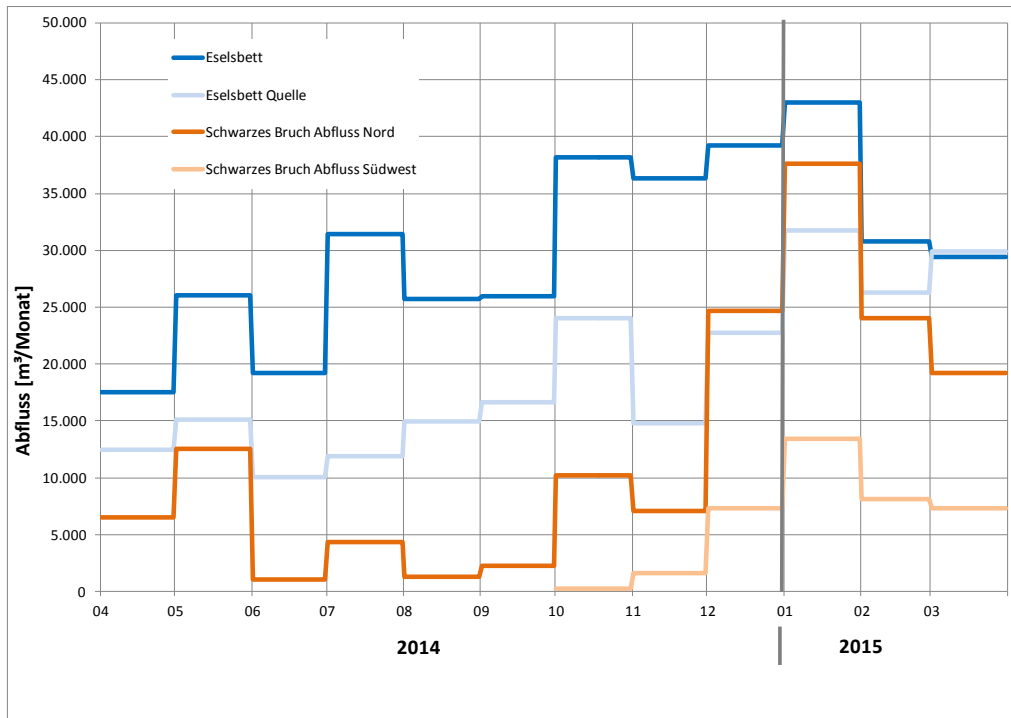


Abb. 4-3: Monatliche Abflusswerte zu den Teilgebieten.

Das Abflussverhalten im Gebiet Schwarzes Bruch ist, wie der Ganglinie "Schwarzes Bruch Abfluss Nord" zu entnehmen ist, deutlich wechselhafter. So geht hier der Abfluss im Sommerhalbjahr deutlich zurück bzw. versiegt. Im Oktober stellt sich dann wieder wie auch im Eselsbett ein schnell zunehmender Abfluss ein. Im Januar 2015 ist dieser ähnlich groß wie der am Eselsbett.

Gebiet	Eselsbett Quelle	Eselsbett	Schwarzes Bruch Abfluss Nord	Schwarzes Bruch Abfluss Südwest
	[m³]	[m³]	[m³]	[m³]
Apr 2014 bis Mrz 2015	329.745	362.926	150.698	38.024
Winter	221.063	196.374	119.089	37.820
Sommer	108.683	166.553	31.609	-
Anteil Winter in%	67	54	79	-
Anteil Sommer in %	33	46	21	-

Tab. 4-3: Abflusssummen für vier Teilgebiete. Die Messreihe zu "Schwarzes Bruch Abfluss Südwest" ist unvollständig (Messreihe: Nov 2014 bis Mrz 2015).

In der Tab. 4-3 sind Abflusssummenwerte aufgeführt. Daraus ist abzuleiten, dass der Abfluss Eselsbett (362.926 m³/a) deutlich geprägt wird von dem Abfluss Eselsbett Quelle (329.745 m³/a). Auf der Fließstrecke zwischen OW 1-1 und OW 1-3 gibt es im Odenheimer Bach demnach keinen signifikanten Abflusszuwachs. Die sommerhalbjährlichen Anteile am Gesamtabfluss im Eselsbett von 33 bzw. 46 % sind deutlich höher als im Gebiet Schwarzes Bruch Abfluss Nord (21 %). Diese beiden sehr verschiedenen Abflusscharakteristika sind so zu interpretieren, dass der Abfluss am Eselsbett überwiegend grundwasserbürtig und durch den kontinuierlich zuliefernden Festgesteinsaquifer geprägt ist, wohingegen der Abfluss im Schwarzes Bruch überwiegend von kurzfristigem Grundwasser und Oberflächenwasser geprägt ist. Die geomorphologischen Positionen der beiden Gebiete sind ein wesentlicher Grund für diese Unterschiede im Abflussverhalten. So exfiltriert der auf bis zu 417 mNN aufragende Festgesteinsaquifer am Fuße des Eselsbett in dem hier auf 317 bis 325 mNN verlaufenden Odenheimer Bachbett ganzjährig in signifikanter Größenordnung, während das mit etwa 340 mNN deutlich höher gelegene Schwarze Bruch-Gebiet mehr als Überlaufquelle in winterhalbjährlichen Wasserüberschusszeiten funktioniert.

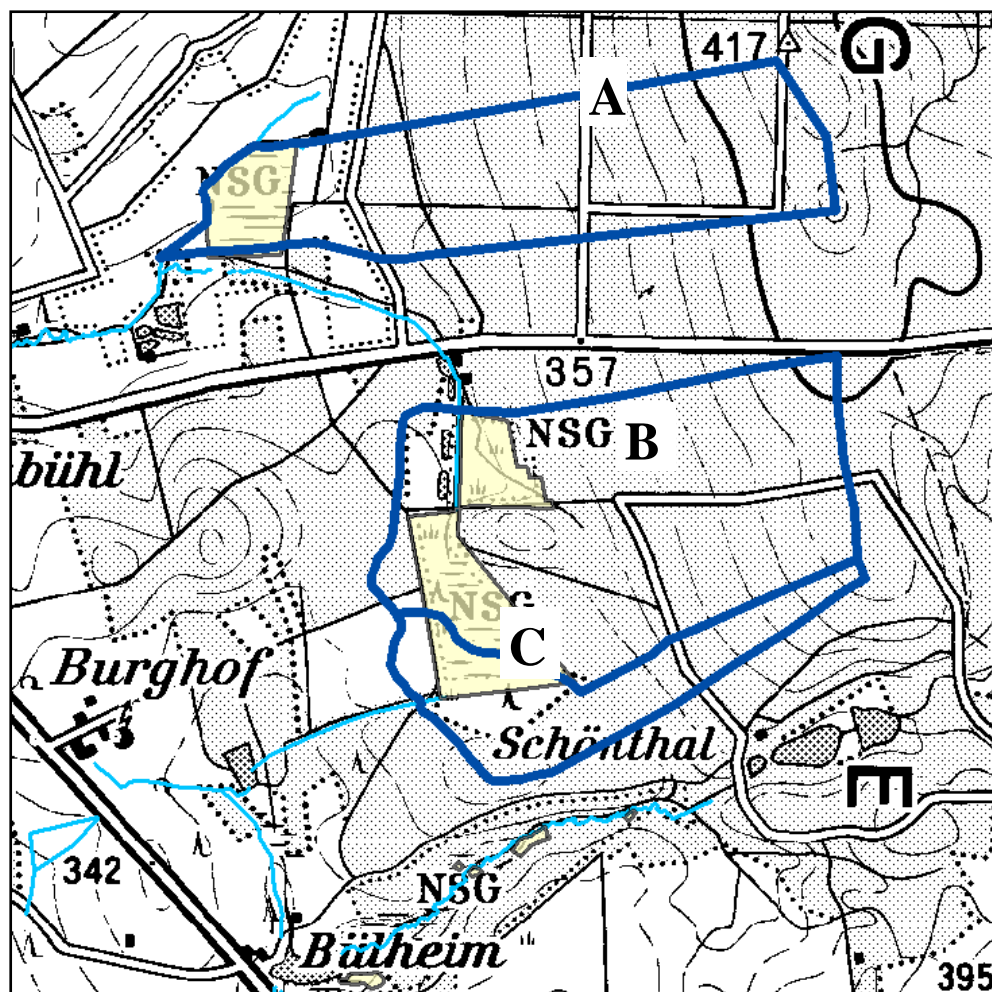


Abb. 4-4: Oberirdische Einzugsgebiete der Teilgebiete Eselsbett (A) sowie Schwarzes Bruch Abfluss Nord (B) und Schwarzes Bruch Abfluss Südwest (C).

Gebiet			Eselsbett	Schwarzes Bruch	
				Abfluss Nord	Abfluss Südwest
Projektgebiet	[m²]		115.885	157.103	74.861
Einzugsgebiet bis zum Bergkamm	[m²]		1.156.782	1.151.281	478.338
Gebietsabfluss-spende	Jahr	[l/(s*km²)]	9,9	4,2	-
	Winter	[l/(s*km²)]	10,8	6,6	5,0
	Sommer	[l/(s*km²)]	9,1	1,7	-

Tab. 4-4: Gebietsabflussspenden zu drei Teilgebieten. Betrachtungszeitraum April 2014 bis März 2015. Die Messreihe zu "Schwarzes Bruch Abfluss Südwest" ist unvollständig (Nov 2014 bis Mrz 2015)

Auf der Grundlage der ermittelten Abflussmengen sind für die in der Abb. 4-4 dargestellten Oberirischen Einzugsgebiete die Abflussspenden berechnet worden (siehe Tab. 4-4). Die Größenordnung der hier ermittelten Abflussspenden von 6 bis $10 \text{ l/(s*km}^2\text{)}$ ist als realistisch einzustufen. Die Bandbreite der Winter- und Sommerhalbjährlichen Abflussspenden von 10,8 und $9,1 \text{ l/(s*km}^2\text{)}$ für das Gebiet Eselsbett zeigt das ausgeglichene Abflussgeschehen in diesem Gebiet an. Im Gebiet Schwarzes Bruch Abfluss Nord ist die Bandbreite mit 6,6 und $1,7 \text{ l/(s*km}^2\text{)}$ deutlich größer, was auf den hier dominierenden winterhalbjährlichen Abfluss hinweist.

4.5 Zusammenfassende Gebietsbeschreibungen

4.5.1 Eselsbett und Schwarzes Bruch

Aus den Untersuchungsergebnissen ist abzuleiten, dass die untersuchten Moore Eselsbett und Schwarzes Bruch ihren Wasserhaushalt überwiegend durch Niederschlag und über Wasser, welches von den Hängen als Oberflächenwasser und Interflow zufließt, regenerieren. Im Eselsbett kann in der Nähe zum Odenheimer Bach auch Grundwasser aus dem tieferen Festgesteinssystem bis in den oberflächennahen Bereich aufsteigen und so die Regeneration des Bodenwasserhaushalts unterstützen.

Die Flurabstände, welche für die im August 2014 gegebene sommerliche Depressionsphase ermittelt wurden, liegen im Mittel bei 0,40 m (Eselsbett), 0,39 m (Schwarzes Bruch Nord) und 0,31 m (Schwarzes Bruch Süd). Dies zeigt an, dass in diesen Mooren auch im Sommerhalbjahr annähernd moortypische Flurabstände von etwa 0,30 m gegeben sind und damit auch der Bodenwasserhaushalt relativ gut gefüllt ist. Aus der Standortvegetation ist aber auch abzuleiten, dass die Moore im aktuellen Zustand nicht die Extremstandorte sind, welche von einer ganzjährigen oberflächennahen Durchnässung bzw. kurzzeitigen Überstauphasen geprägt sind.

Anhand der Abflussganglinien zu den Moorstandorten (OW 1-1, OW 2-1) ist festzustellen, dass bei Niederschlagsereignissen im Sommerhalbjahr der Oberflächenabfluss relativ schnell ansteigt. Durch den in der Vergangenheit erfolgten Torfabbau und die damit einhergehenden bzw. nachfolgenden Meliorationsmaßnahmen ist die Torfkörperstruktur gestört worden. Neben den Hauptentwässerungsgräben sind dabei auch Wasserwegsamkeiten bzw. Wasserleiterbahnen geschaffen worden, welche heute unterhalb einer geschlossenen Vegetationsdecke verlaufen und nicht ersichtlich sind.

Die Reduktion des Oberflächenabflusses und Interflows in den beiden Mooren Eselsbett und Schwarzes Bruch dürfte wesentlich zu einer Stabilisierung des Bodenwasserhaushaltes bzw. zu einer Aufhöhung des Moorwasserstandes im Sommerhalbjahr beitragen.

4.5.2 Sauerbachtal

Die insgesamt fünf Teilgebiete im Sauerbachtal sind genetisch als Hang- bzw. Quellmoore einzustufen. Eine Abtorfung hat hier in der Vergangenheit offensichtlich nicht stattgefunden. Der oberflächennahe Wasserhaushalt dieser Gebiete wird überwiegend durch das im Sauerbachtal zutage tretende Grundwasser aus dem Festgesteinssystem regeneriert. Wie aus den Ganglinien der hier eingerichteten insgesamt drei GWMS abzuleiten ist, fällt der "Moorwasserstand" im Sommerhalbjahr nur gebiets- und zeitweise unter das Geländeniveau ab. Dies kann seine Ursache in erhöhten Verdunstungsverlusten und einer geringeren Nachlieferung an Grundwasser haben. Zusammenfassend ist aber davon auszugehen, dass die fünf Moorstandorte im Sauerbachtal aufgrund ihres ungestörten Bodenkörpers und der quasikontinuierlichen Regeneration des Bodenwasserhaushaltes funktionale und natürliche Systeme sind.

5. Wasserbauliche Planung

5.1 Grundsätzliches

Ziel der wasserbaulichen Maßnahmen ist es, möglichst viel Oberflächenwasser, Interflow und Grundwasser, welches zurzeit u.a. aufgrund von anthropogen geschaffenen Strukturen relativ schnell aus den Mooren abfließt, zurückzuhalten.

In Abstimmung mit der Biologischen Station Kreis Paderborn - Senne e.V. sieht die wasserbauliche Planung eine Vielzahl an Bauwerken vor, mit welchen die anthropogenen und abflusswirksamen Geländestrukturen hydraulisch unwirksam gemacht werden sollen. Die Bauwerke werden als Dammsystem, Grabenkammerung oder Dichtungswand ausgeführt.

Gemäß §1 (2) des Landeswassergesetzes (LWG) des Landes Nordrhein-Westfalen sind die wasserrechtlichen Bestimmungen, z.B. zum Ausbau von Gewässern, nicht auf Entwässerungsgräben anzuwenden, die nicht der Vorflut von Grundstücken anderer Eigentümer dienen. Die im Folgenden erläuterten Maßnahmen sind in diesem Sinne nicht als Gewässerausbaumaßnahmen nach dem LWG anzusehen. Eine wasserrechtliche Beantragung ist nach Auffassung des Verfassers daher für sämtliche der geplanten Maßnahmen verzichtbar. Die Entscheidung hierüber bleibt der Wasserbehörde vorbehalten.

5.2 Eselsbett

In der Anlage 5 sind die wasserbaulichen Maßnahmen lagemäßig dargestellt. Detaildaten zu den einzelnen Bauwerken können den nachstehenden Tabellen 5.1 und 5.2 entnommen werden.

Aufgrund der ausgeprägten Hangmoor-Charakteristik war es in der Vergangenheit für den Torfabbau nicht notwendig, ein engständiges und tiefreichendes Grabensystem einzurichten. Nur im unteren Bereich des Eselsbetts auf dem Höhenniveau von etwa 321 bis 327 mNHN finden sich noch vereinzelt Relikte von Entwässerungsgräben bzw. -mulden. Mit einem von Bulten, Schlenken und Mulden geprägten Relief sind im Eselsbett der Oberflächenabfluss und Interflow begünstigt.

Bei den gegebenen Verhältnissen im Eselsbett ist es in weiten Teilen für einen wirksamen Einstau nicht ausreichend, kleinräumige wasserbauliche Maßnahmen durchzuführen. Zielführend ist es vielmehr, weitreichende Dammsysteme in dem durch anthropogene Eingriffe in seiner Oberflächenstruktur stark gestörten unteren und mittleren Teilgebiet des Eselsbetts (Geländehöhen von ca. 321 bis 327 mNHN) einzurichten. Die Dammverläufe sind so geplant, dass die Dammkronen etwa 0,40 m über das Gelände aufragen. So ist sichergestellt, dass bei späteren Sackungen, u. a. durch Torfzersetzung, die Stauwirkung langfristig erhalten bleibt.

Ergänzt wird das Dammsystem durch Grabenkammerungen in ausgeprägten Graben-/Muldenstrukturen sowie durch zwei Spund-/ Dichtungswandsysteme oberhalb der im Gelände gut sichtbaren Torfabbruchkante.

Bezeichnung	Bauteil	Dammhöhe [mNHN]	Länge [m]
D1	Damm	320,20	11
D2	Damm	320,50	13
D3	Damm	320,50	18
D4	Damm	321,50	50
D5	Damm	322,40	149
D6	Damm	323,00	89
D7	Damm	323,50	358
D7.1	Stichdamm	323,50	10
D7.2	Stichdamm	323,50	10
D7.3	Stichdamm	323,50	10
D8	Damm	324,00	100
D9	Damm	324,15	69
D10	Damm	324,50	83
D11	Damm	324,80	69
D12	Damm	325,20	70
D13	Damm	325,40	35
D14	Damm	325,60	104
D15	Damm	326,10	201
D15.1	Stichdamm	326,10	10
D16	Damm	326,40	184
D16.1	Stichdamm	326,40	10
D17	Damm	327,20	179
D17.1	Stichdamm	327,20	10

Tab. 5.1: Auflistung der im Eselsbett geplanten Dammbaumaßnahmen.

Bezeichnung	XCoord	YCoord	Bauhöhe [mNHN]
GK1.1	32.495.873	5.719.376	319,34
GK1.2	32.495.876	5.719.368	319,76
GK2.1	32.496.062	5.719.649	323,93
GK3.1	32.496.105	5.719.627	325,19
GK3.2	32.496.115	5.719.618	325,57
GK3.3	32.496.123	5.719.610	325,56
GK4.1	32.496.128	5.719.675	324,78
GK4.2	32.496.131	5.719.660	325,15
GK4.3	32.496.134	5.719.644	325,22
GK5.1	32.496.161	5.719.672	325,31
GK5.2	32.496.164	5.719.660	325,45
GK5.3	32.496.169	5.719.649	325,67

Tab. 5.2: Auflistung der im Eselsbett geplanten Grabenkammerungen.

Für die Unterbindung einer Überströmung und damit Erosion der Dammkronen sind in den Dämmen steuerbare Durchlässe einzubauen. Bei Dammlängen von bis zu etwa 100 m ist jeweils ein Durchlass ausreichend. Längere Dämme sind durch Stichdämme in etwa 100 m lange Segmente zu gliedern, wobei jedes Segment mit einem Durchlass auszustatten ist. Die Segmentierung sorgt dafür, dass im Falle einer Dammleckage bei Überstauverhältnissen nur der zwischen zwei Stichdämmen verlaufende Dammabschnitt entwässert. Gleichzeitig wird durch die Stichdämme die abschnittsweise Herstellung des Dammes ermöglicht, was insbesondere in Nasszeiten die Bauausführung begünstigen kann. Die Durchlässe sind mit 200er-PP-Rohr auszuführen und die Standorte jeweils mit z. B. Holzpfehlen zu kennzeichnen.

Im unteren Drittel ist ein von Norden nach Süden das Eselsbett-Gebiet fast vollständig durchlaufender Damm (D7) mit einer Dammhöhe von 323,5 mNHN geplant. Durch vier Stichdämme (D7.1 bis D7.4) wird der Damm in insgesamt fünf Segmente untergliedert. Es wird empfohlen, den Damm D7 befahrbar auszuführen. Damit besteht die Möglichkeit, für weitere Bau- sowie nachfolgende Kontroll-, Wartungs- oder Ausbesserungsarbeiten die entsprechenden Örtlichkeiten gut zu erreichen.

Die unterhalb bzw. westlich von D7 geplanten weiteren Dämme D1, D2 und D4 bis D6 sind deutlich kürzer. Diese sind für den Wassereinstau in kleinteiligeren Geländesenken geplant.

Östlich von D7 und unterhalb der hier gut sichtbaren Torfabbruchkante ist das aus D8, D11 und D13 bestehende Dammsystem geplant. In dem morphologisch stark überprägten Gelände wird mit dem Dammsystem wirksam Oberflächenabfluss und Interflow einzustauen sein. Die Bauausführung der Dämme ist auf die hier ausgebildeten kleinteiligen Schwingrasenflächen in der Form abzustimmen, dass diese immer hangfußseitig gequert bzw. umgangen werden. Erst in der Bauphase werden die exakten Dammverläufe festzulegen sein.

Der im zentralen Teil des Eselsbetts weiträumig ausgebildete Weidenkörper ist im Januar und Februar 2016 abgeholzt worden. Deren Wurzeln sind teilweise auch entfernt worden. Durch diesen Rückbau wird hier offener Moorlebensraum geschaffen. Durch möglichst oberflächennahe Grundwasserstände können diese Verhältnisse stabilisiert werden, was durch die weiteren Dämme D9, D10, D12 sowie D14 bis D17 erreicht werden soll.

Unmittelbar südwestlich des Projektgebietes Eselsbett befindet sich eine anmoorige Fläche mit einem Vorkommen von Moosbeere und Sonnentau. Um diese zu entwickeln, sind in der hier zum Odenheimer Bach verlaufenden Geländesenke ein 18 m langer Damm (D3) sowie im unteren Abschnitt zwei Grabenkammerungen (GK1.1 und GK1.2) vorgesehen.

Weitere Grabenkammerungen (GK2 bis GK5) sind im Nordteil des Eselsbetts in den hier nach Norden bis Nordwesten zum Odenheimer Bach verlaufenden kleinräumigen Senkenstrukturen vorgesehen.

Insbesondere durch den aktuell ausgeführten massiven Rückbau des Weidengehölzes können noch bisher nicht ersichtliche abflusswirksame Geländestrukturen aufgedeckt werden. Um auch hier den Abfluss wirksam zu reduzieren bzw. zu unterbinden, sind als zusätzlicher möglicher Bedarf 13 weitere Grabenkammerungen in die Planung mit aufgenommen worden.

Die beiden Dichtungs-/ Spundwandsysteme SpW 1 und 2 sind in Muldenstrukturen geplant, welche entlang der im Gelände gut sichtbaren Torfabbaukante ausgebildet sind. Diese Bauwerke sind über eine Breite von jeweils 5 bis 6 m auszuführen.

5.3 Schwarzes Bruch

In der Anlage 6 sind die im Schwarzes Bruch geplanten wasserbaulichen Maßnahmen lagemäßig dargestellt.

Bezeichnung	XCoord	YCoord	Bauhöhe [mNNH]
GK1.1	32.496.876	5.718.700	337,49
GK1.2	32.496.900	5.718.668	337,96
GK1.3	32.496.925	5.718.598	338,88
GK1.4	32.496.953	5.718.582	339,33
GK1.5	32.496.980	5.718.565	339,97
GK1.6	32.497.010	5.718.547	340,56
GK1.7	32.497.031	5.718.534	341,01
GK1.8	32.497.053	5.718.521	341,39
GK2.1	32.496.859	5.718.539	339,29
GK2.2	32.496.903	5.718.509	339,47
GK2.3	32.496.954	5.718.477	340,00
GK2.4	32.497.007	5.718.443	340,54
GK2.5	32.497.025	5.718.432	340,98
GK2.6	32.497.050	5.718.416	341,51
GK2.7	32.497.072	5.718.402	342,00
GK2.8	32.497.092	5.718.389	342,31
GK2.9	32.497.114	5.718.376	343,05
GK2.10	32.497.130	5.718.364	343,49
GK2.11	32.497.149	5.718.348	344,02
GK3.1	32.496.911	5.718.541	339,35
GK3.2	32.496.882	5.718.429	339,96
GK3.3	32.496.859	5.718.337	340,50
GK4.1	32.496.836	5.718.327	340,47
GK4.2	32.496.821	5.718.280	341,01
GK4.3	32.496.811	5.718.246	340,83
GK4.4	32.496.820	5.718.204	341,19
GK4.5	32.496.850	5.718.102	341,37
GK4.6	32.496.881	5.717.997	341,56
GK5	32.496.712	5.718.230	341,27
GK6	32.496.754	5.717.595	341,11

Tab. 5.3: Auflistung der im Schwarzes Bruch geplanten Graben-Kammerungen.

Der Nordteil des Schwarzes Bruch hat eine vergleichsweise nur geringe Torfauflage, welche überwiegend im westlichen Abschnitt ausgebildet ist. Die Geländemorphologie ist kleinräumig nur wenig strukturiert. Eine wirksame Rückhaltung von Oberflächenwasser und Interflow ist hier zu erreichen durch die hydraulische Deaktivierung der drei Gräben, welche deutliche Spuren der Sukzession aufweisen. Insgesamt sind hier 22 Grabenkammerungen vorgesehen (s. Anlage 6, Tab. 5.3). Im Verlauf der Gräben sind nach einem Geländehöhenanstieg von jeweils 0,20 m die Kammerungen geplant. Aufgrund des ausgeprägten Geländegefälles von Südosten nach Nordwesten ergeben sich bis zu elf Kammerungen in den in dieser Richtung verlaufenden Gräben. Ein vollständiger Grabenrückbau würde die gleiche Wirkung erzielen, wird aber aufgrund der nur geringen Kapazität an Bodenmaterial für eine solche Baumaßnahme verworfen. Der geplante Grabenrückbau auf den höher gelegenen Abschnitten ohne Torfauflage wird auch für sinnvoll erachtet, weil so bereits auf den höheren Hanglagen der an Grabenstrukturen sich orientierende Oberflächenwasserzufluss wirksam reduziert wird. Das Oberflächenwasser bewegt sich dann über die Fläche und kommt aufgrund der größeren Systemverweilzeit dem Bodenwasser- und Grundwasserhaushalt zugute.

Im Südteil vom Schwarzes Bruch verläuft der Hauptentwässerungsgraben nach Norden. In diesem deutliche Sukzessionsspuren aufweisenden Graben sind ebenfalls Kammerungen (GK4) nach jeweils 0,20 m Geländehöhenanstieg vorgesehen. Entlang des südlichen Grabenabschnitts weist das Gelände ein nur sehr geringes Gefälle auf. Hier sind die Grabenkammerungen nach nur 0,10 m Geländehöhenanstieg gesetzt. Im Südteil sind insgesamt acht Grabenkammerungen geplant.

Der südliche Bereich des Südteils ist relativ eben ausgebildet. In Wasserüberschusszeiten wie gegen Ende eines Winterhalbjahres fließt hier das Oberflächenwasser weitflächig nach Westen bis Südwesten zum Gebietsrand.

Eine wasserbauliche Maßnahme mit dem Ziel, den Oberflächenabfluss zum Gebietsrand zu unterbinden, ist im September 2015 vom Bergwaldprojekt e.V. ausgeführt worden. Hierbei sind am Südrand in Grabenstrukturen, welche der Sukzession unterliegen, insgesamt vier Grabenkammerungen (s. Anlage 6; BWP1 bis BWP4) eingebaut worden. Wie uns nachrichtlich vom Auftraggeber mitgeteilt worden ist, war deren stauende Wirkung im Winterhalbjahr 2015/2016 augenscheinlich gegeben.

Der Gebietsabfluss des Südteils ist auf eine Grabenstruktur ausgerichtet, die sich erst am Rande des Projektgebietes ausprägt und nach Westen zum Sauerbach führt. Um diesen Abfluss in Form von Oberflächenwasser und Interflow wirksam zu unterbinden, ist hier ein Damm vorgesehen. Um die Stauwirkung auch bei möglichen Sackungen im Dammkörper langfristig sicherzustellen, ist die Dammkronenhöhe auf 0,40 m über Gelände geplant. Die Dammlänge beträgt etwa 160 m (s. Tab. 5.4; D1). Um Überstauverhältnisse zu vermeiden, wird auch dieses Dammsystem mit einem regelbaren Rohrdurchlasssystem ausgestattet. Es sind zwei Rohrdurchlässe vorgesehen.

Bezeichnung	Bauteil	Dammhöhe [mNHN]	Länge [m]
D1	Damm	341,80	161

Tab. 5.4: Auflistung der im Schwarzes Bruch geplanten Dammbaumaßnahmen.

Im Jahre 1987 wurden im Schwarzes Bruch bereits wasserbauliche Maßnahmen umgesetzt. Eine Maßnahme hierbei war der Einbau von PE-Platten quer zu der am Südwestrand einsetzenden Grabenstruktur. Deren stauende Wirkung ist jeweils im Winterhalbjahr offensichtlich. Die ungefähr in Nord-Süd-Richtung verbaute PE-Dichtungswand quert aber nicht vollständig die sich hier bereits abzeichnende Talstruktur. Für einen noch effektiveren Einstau wäre eine Verlängerung der Dichtungswand nach Süden vorzusehen. Ein solches Dichtungswandsystem würde die hier bereits feststellbare Renaturierung stützen bzw. nachhaltig fördern.

Über die Bauausführung der PE-Dichtungswand liegen keine Angaben vor. Es ist davon auszugehen, dass diese aus mehreren Einzelelementen aufgebaut ist und kein druckwasserdichtes Verbundsystem besteht. Für den jetzigen Zustand sind Leckagen nicht auszuschließen. Bei einer Dichtungswandverlängerung und einem dann theoretisch wirksameren Rückstau würden solche Leckagen noch mehr zum Tragen kommen, was unbedingt zu vermeiden ist.

Es wird empfohlen, die Dichtungswand vollständig neu aufzubauen. In der Anlage 6 ist diese lagemäßig dargestellt. Zu der Bauausführung sind im Kap. 6 detaillierte Angaben gemacht.

Zur Unterstützung der wasserbaulichen Maßnahmen am Südwestrand des Schwarzes Bruch ist etwa 25 m weiter westlich der Dichtungswand in einem hier verlaufenden Nebengraben noch eine weitere Grabenkammerung (GK6; s. Anlage 6) vorgesehen.

5.4 Sauerbachtal

In den flächenmäßig vergleichsweise kleinen Teilgebieten im Sauerbachtal ist es aufgrund der Geländestrukturen nicht möglich, wasserbauliche Maßnahmen umzusetzen. Hier sind andere Maßnahmen zur Verbesserung der Wasserhaushaltsverhältnisse und Entwicklung der Hang- bzw. Quellmoore vorgesehen.

6. Ausführung der Bauwerke

Es sind folgende Bauwerkstypen als wasserbauliche Maßnahmen geplant:

- Moordammsystem
- Grabenverschluss
- Dichtungswand

6.1 Moordammsystem

Durch die Moordammsysteme werden die durch den Torfabbau entstandenen und in Richtung auf die Moorrandbereiche verlaufenden Wasserwegsamkeiten unterbunden und das aus den Niederschlägen resultierende Oberflächenwasser und der Interflow (oberflächennahes Wasser) auf den unterschiedlich hoch gelegenen Teilflächen zurückgehalten und gespeichert. Die Struktur der Dammsysteme ist an die Morphologie des jeweiligen Moores anzupassen. Jede Teileinheit des Dammsystems verläuft hierbei jeweils auf einem Höhenniveau.

Das Dammsystem wird mit maschinellem Einsatz aufgebaut (s. Abb. 6-1). Es ist zunächst mit dem anstehenden Torf bzw. Hanglehm ein gut verdichteter und ausreichend tragfähiger Untergrundaufbau herzustellen. Dadurch wird bewirkt, dass die vielfach nur schwerlich festzustellenden unterirdischen Wasserwegsamkeiten in dem Torfkörper mehr oder weniger systematisch beseitigt werden. Der für den Dammaufbau benötigte nur gering wasserdurchlässige Torf bzw. Hanglehm wird aus der Dammtrasse und dem binnenseitigen Randbereich entnommen. Vor der Bodenentnahme sind die Vegetationssoden abzutragen und zwischenzulagern. Größere örtliche Bodenentnahmen können zur Bildung von Stillgewässern führen. Bis zu einer Höhe von etwa 0,30 m über der heutigen Mooroberfläche werden die Dämme mit Torf aufgebaut. Zum Schutz vor Zersetzung und Zehrung wird der Torf mit einer etwa 0,10 m dicken Schicht aus Vegetationssoden abgedeckt. Dies verbessert gleichzeitig die Tragfähigkeit beziehungsweise Befahrbarkeit des dann etwa 0,40 m hohen Moordammsystems. Bei einer solchen Dammhöhe kann von einer ausreichenden Funktionssicherheit, dies auch bei möglichen Torfsackungen, ausgegangen werden. Im Bereich von örtlichen Geländesenken können auch größere Dammhöhen notwendig werden. Die restlichen Vegetationssoden werden dann wieder auf die Torfentnahmestellen aufgebracht.

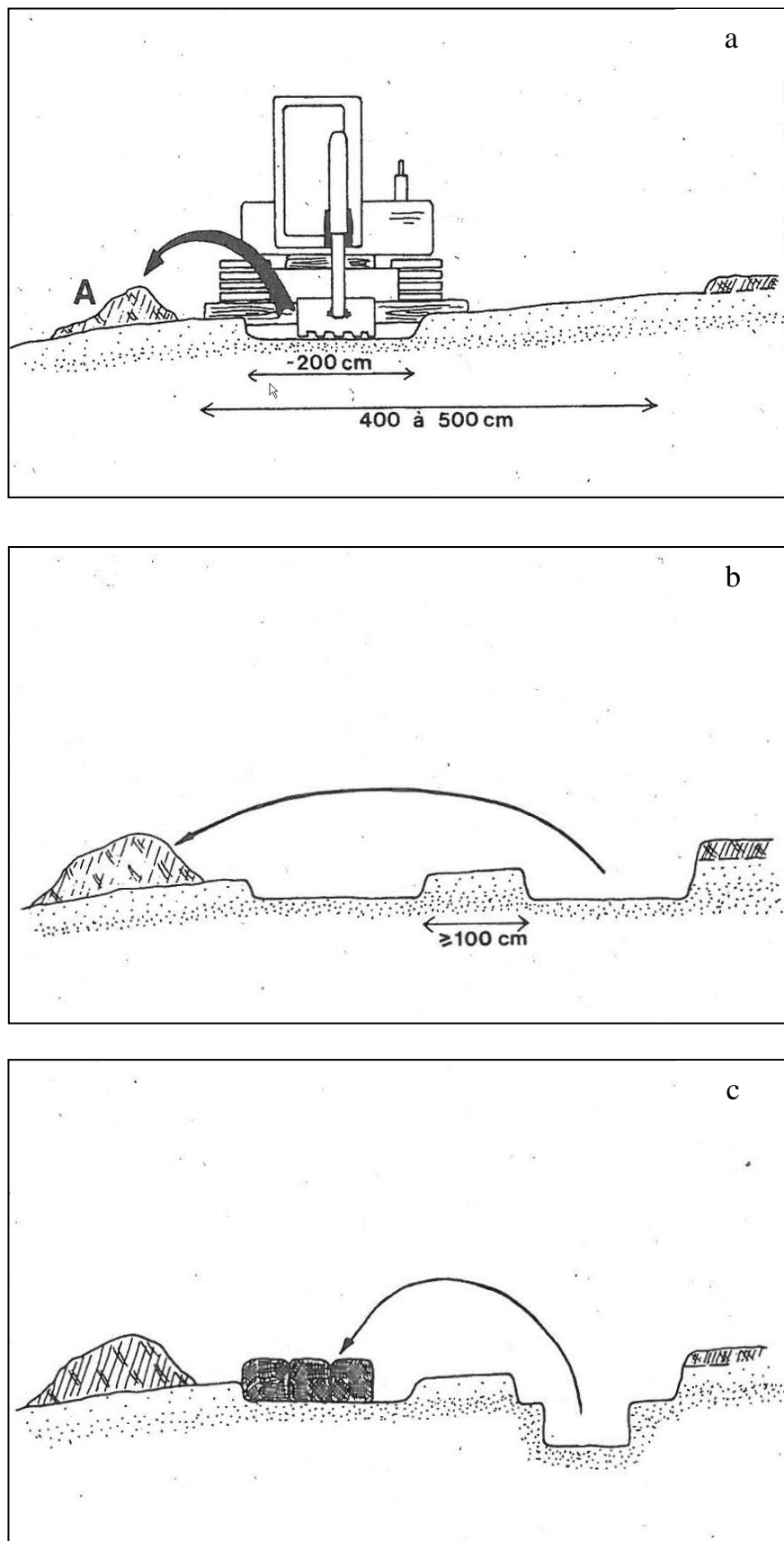


Abb. 6-1a: Errichtung eines Torfdammes, aufgelöst in fünf Einzelschritten, hier die Einzelschritte a bis c (Aus: BAFU 2009).

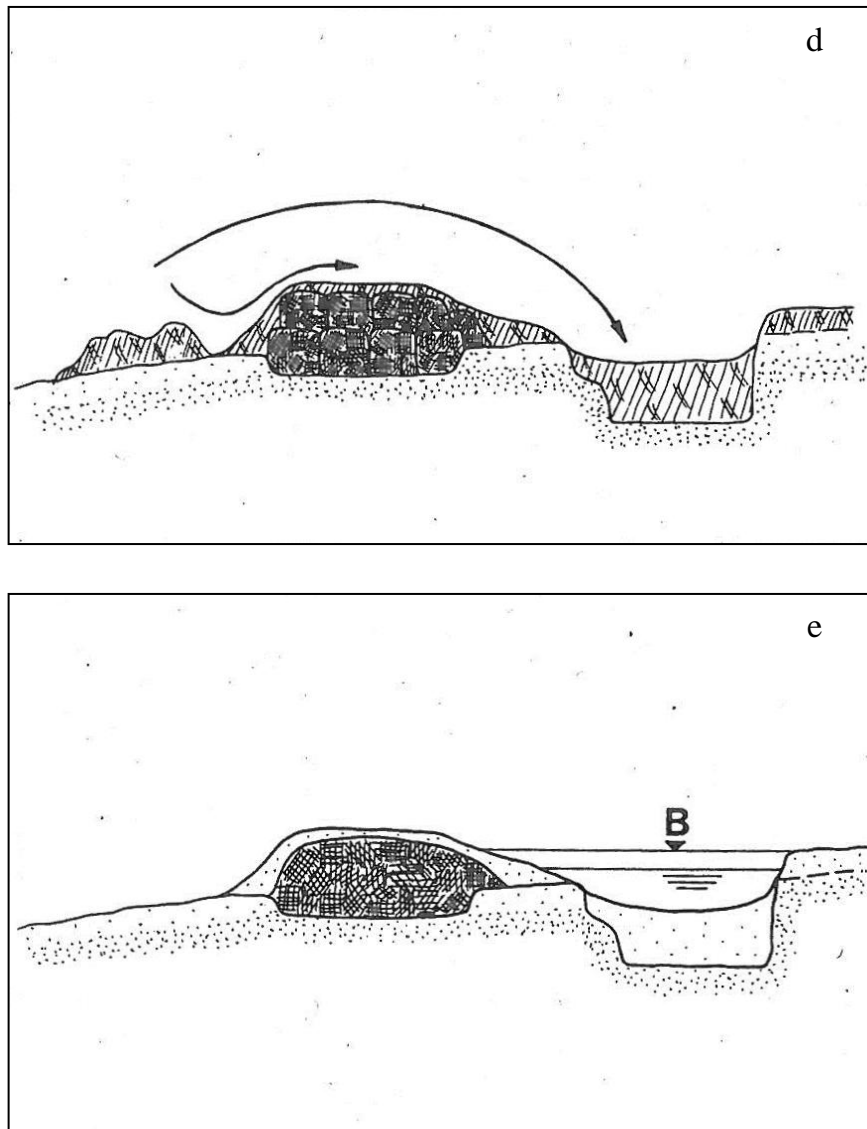


Abb. 6-1b: Errichtung eines Torfdammes, aufgelöst in fünf Einzelschritten, hier die Einzelschritte d und e (Aus: BAFU 2009).

In dem Moordammsystem werden, abgestimmt auf die örtlichen Gegebenheiten, Durchlassrohre eingebaut, auf denen zustromseitig 90°-Winkelrohre montiert sind (s. Abb. 6-2). Über diese Durchlässe wird Überschusswasser aus höher gelegenen Flächen kontrolliert auf tiefer gelegene Flächen abgeleitet. Dies verhindert die Überströmung und eine daraus resultierende Zerstörung der Moordämme. Gleichzeitig ermöglicht ein solches System das Einregulieren von Wasserständen beziehungsweise das Wasserhaushaltsmanagement. An längeren Dammsystemen sind je 100 m Dammlänge hangseitig etwa 10 m lange und im rechten Winkel zum Hauptdamm verlaufende Stichdämme anzulegen. Dies reduziert bei möglichen Dammleckagen die möglichen Wasserverluste und ermöglicht auch in Nassperioden einen abschnittsweise erfolgenden Dammaufbau.



Abb. 6-2: Wasserstandsteuerung über ein regulierbares Rohrsystem (Aus: EU-LIFE-Projekt Großes Torfmoor. Bearbeiter: Umweltplanung Belting).

Die räumliche Anordnung der Dammsysteme ist in den Anlagen 5 und 6 dargestellt. Der Verlauf der Dämme ist durch die morphologischen Gegebenheiten in den Mooregebieten vorgegeben und wird während der Bauphase durch ein vorausseilendes Feinnivellement im Detail festgelegt.

6.2 Grabenkammerungen

Die noch abflusswirksamen Gräben sind in den Gebieten Eselsbett und Schwarzes Bruch vollständig zurückzubauen. Werden diese Gräben nicht von den geplanten Moordammsystemen erfasst, sind die betreffenden Grabensysteme durch den Einbau von Kammerungen hydraulisch unwirksam zu machen.

Im Eselsbett sind als Ergänzung zu dem Dammsystem nur örtlich Grabenkammerungen vorgesehen. Im Schwarzes Bruch bilden die Grabenkammerungen das Hauptelement der wasserbaulichen Maßnahmen.

Zur Sicherung der Langzeitfunktion sind die Kammerungen in einer Gemischtbauweise mit Holzspundwänden sowie Grabenverfüllungen aus anstehendem Torf bzw. Torf und Mineralboden aufzubauen. Die Holzspundwände sind hierbei aus Holzelementen mit Nut und Feder aufzubauen. In den Abbildungen 6-3 bis 6-6 ist die Bauausführung skizziert bzw. im Foto zu einer Bauausführung dargestellt. Je nach bodenmechanischen Eigenschaften des Untergrundes wird die Holzspundwand entweder direkt in die Grabensohle getrieben oder es wird über ein Querprofil der Boden eingetieft und darin die Spundwand eingesetzt. Die Oberkante der Holzspundwand ist auf etwa 0,10 m über Gelände auszuführen. Der anschließend einzubauende Boden überdeckt die Holzspundwand. Der Bodenaufbau wird in Abstimmung auf den natürlichen Schichtenaufbau mit örtlich zu entnehmendem Torf bzw. Torf und unterlagerndem Hanglehm ausgeführt. In Abhängigkeit von dem Torfanteil in der Grabenkammerung ist der Bodenaufbau zur Kompensierung von Torfsackungen um bis etwa 0,30 m über das anstehende Gelände auszuführen. Die Kammerungsverschlüsse sind mit einer "Kronenlänge" von 2,5 m auszuführen. Die Böschungen sind hangseitig mit 1 : 2 und auf der hangabgewandten Seite mit 1 : 1,5 auszuführen. Die Lage der Kammerungsverschlüsse ist den Anlagen 1 und 2 zu entnehmen.

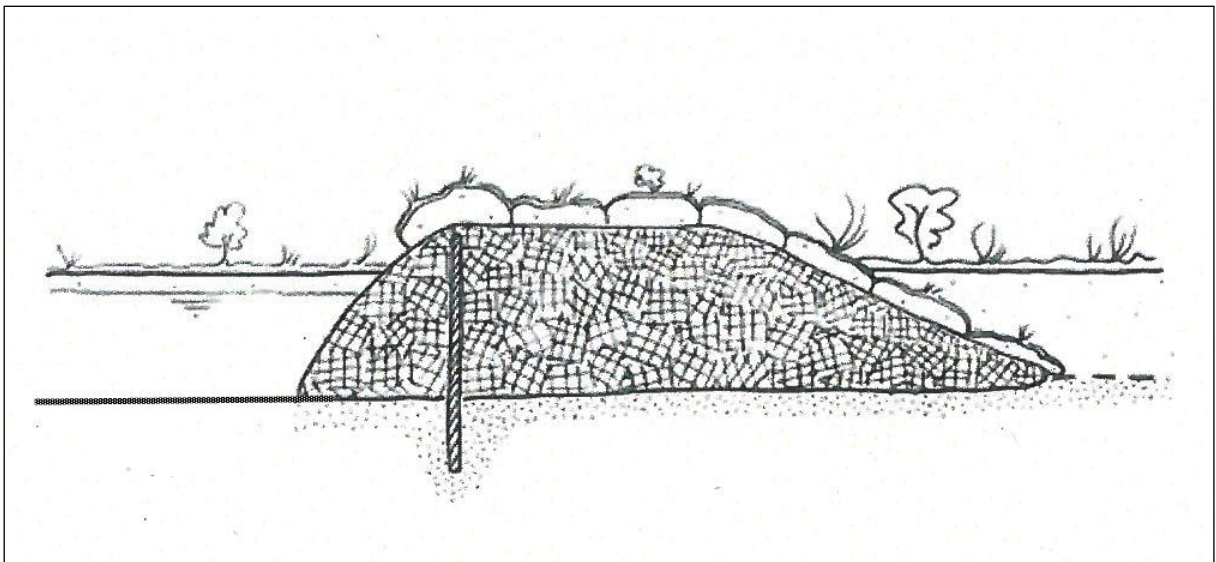


Abb. 6-3: Grabenkammerung im Längsschnitt, aufgebaut auf der Grabensohle (Aus: BAFU 2009).

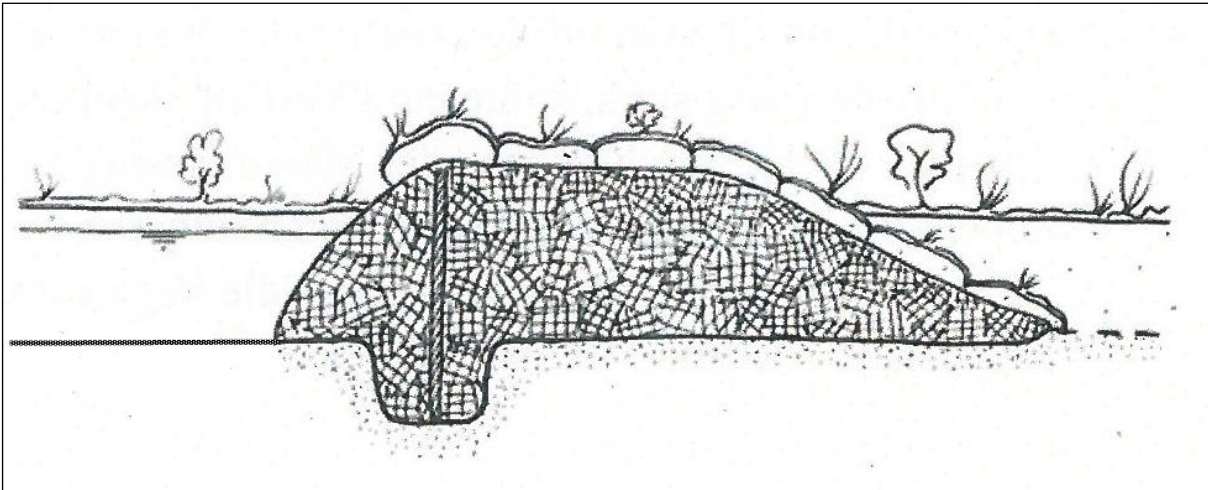


Abb. 6-4: Grabenkammerung im Längsschnitt mit einem ausgebaggerten Querschlag für den Einbau der Holzspundwand (Aus: BAFU 2009).

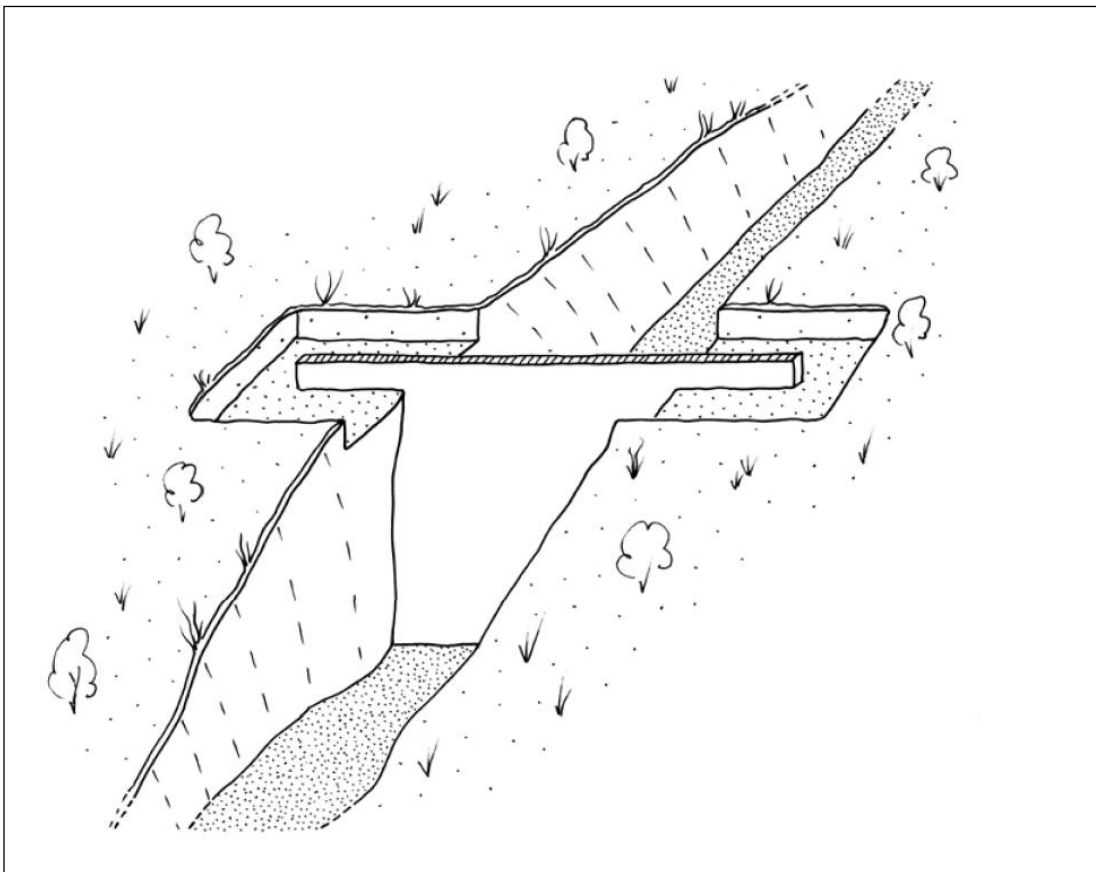


Abb. 6-5: Prinzipskizze zu einer Grabenkammerung mit einer Holzspundwand. Bauzustand vor dem Abdecken mit Torf / Bodenmaterial (Aus: BAFU 2009).



Abb. 6-6: Einbau einer Holzspundwand für eine Grabenkammerung. Noch vor der Abdeckung mit Torf / Bodenmaterial (Aus: BAUDIREKTION KANTON ZÜRICH 2009).

6.3 Dichtungswand

Im Gebiet Südwest vom Schwarzes Bruch ist am südwestlichen Rand eine mit PE-Platten aufgebaute Dichtungswand eingebaut. Diese Konstruktion ist durch eine neu aufzubauende Dichtungswand zu ersetzen und gleichzeitig nach Süden zu verlängern, so dass dann in der hier einsetzenden Talsenke auf ganzer Breite eine Staufunktion gegeben ist.

Eine solche Dichtungswand kann in Holzbauweise aus Holzelementen mit Nut und Feder (s. Abb. 6-7) oder auch mit Kunststoffelementen, die über eine Schlossfunktion verfügen (s. Abb. 6-8), aufgebaut werden. Die Dichtungswand ist in den an der Basis des Torfkörpers anstehenden mineralischen Stauer einzubinden.



Abb. 6-7: Einrichtung einer Holzspundwand (Aus: BAUDIREKTION KANTON ZÜRICH 2009).



Abb. 6-8: Einrichtung einer Dichtungswand mit Kunststoffelementen (Aus: KANTON BERN 2012).

6.4 Kostenschätzung

Die Kostenschätzung erfolgt auf Grundlage von Preisen, die sich bei zurückliegenden Ausschreibungen vergleichbarer Leistungen als wettbewerbsgerecht erwiesen haben.

Neben den in den Karten (Anlagen 5 und 6) dargestellten wasserbaulichen Elementen sind in der Kostenschätzung zum Eselsbett noch zusätzlich 13 Grabenkammerungen aufgenommen worden. Diese sind dafür vorgesehen, dass sich im Zuge der Baumaßnahme noch bisher nicht ersichtliche abflusswirksame Geländestrukturen abzeichnen.

Aufgrund der schwierigen Wegsamkeiten und der großen Witterungsabhängigkeit in der Ausführung sind Unsicherheiten in der Kostenschätzung nicht zu vermeiden. Die unten genannten Preise setzen voraus, dass die Maßnahmen in einer Trockenphase bei vergleichsweise guten Bedingungen ausgeführt werden.

Es ist mit Kosten von brutto rd. 360.000 € zu rechnen.

Pos.	Beschreibung	Menge	Einheit	EP	PP
1	Eselsbett			EUR	EUR
1.1	Baustelleneinrichtung	1,00	psch	8.000,00	8.000,00
1.2	Moordamm herstellen	1.842,00	m	42,00	77.364,00
1.3	Durchlass PP DN200 einschl. Bogen	26,00	Stk	550,00	14.300,00
1.4	Grabenkammerung einschl. Holzspundwand	25,00	Stk	2.700,00	67.500,00
1.5	Dichtungswand herstellen	10,00	m	800,00	8.000,00
	Zwischensumme 1				175.164,00
2	Schwarzes Bruch				
2.1	Baustelleneinrichtung	1,00	psch	6.000,00	6.000,00
2.2	Moordamm herstellen	161,00	m	42,00	6.762,00
2.3	Durchlass PP DN200 einschl. Bogen	2,00	Stk	550,00	1.100,00
2.4	Grabenkammerung einschl. Holzspundwand	30,00	Stk	2.700,00	81.000,00
2.5	Dichtungswand herstellen	65,00	m	480,00	31.200,00
	Zwischensumme 2				126.062,00
				netto:	301.226,00
				MWSt 19 %	57.232,94
				Summe, brutto	358.458,94

7. Prognose zum Wasserhaushalt

Die geplanten wasserbaulichen Maßnahmen haben zum Ziel, möglichst viel von dem Gebietsabfluss zurückzuhalten und damit für den Bodenwasserhaushalt und die Vegetation zur Verfügung zu stellen und so die Gebietscharakteristik des Extremstandortes Moor, nämlich ganzjährig "nasse" Verhältnisse, herzustellen bzw. zu sichern.

Anhand der Abflussmessungen, die in dem wasserwirtschaftlich als durchschnittlich einzustufendem Jahreszeitraum April 2014 bis März 2015 durchgeführt worden sind, sind die Gebietsabflüsse näherungsweise ermittelt worden.

Der Gebiets- bzw. Gesamtabfluss A_{ges} setzt sich aus den Abflussanteilen Oberflächenabfluss A_o , Interflow $A_{\text{Interflow}}$ und grundwasserbürtiger Abfluss A_u zusammen:

$$A_{\text{ges}} = A_o + A_{\text{Interflow}} + A_u$$

Durch die Maßnahmen der wasserbaulichen Planung ist in den Teilgebieten nur der Anteil von $A_o + A_{\text{Interflow}}$ einzustauen, welcher im Wesentlichen aus Niederschlägen resultiert. Um abzuschätzen, wie groß dieser Anteil am Gesamtabfluss ist, sind die Abflussganglinien von Eselsbett und Schwarzes Bruch zu analysieren. Diese zeigen eine sehr unterschiedliche Charakteristik (s.a. Abb. 4-3), was sich durch den unterschiedlichen hydrogeologischen Bau beider Gebiete erklärt.

7.1 Eselsbett

Im Eselsbett ist durch den tief ins Gelände eingeschnittenen Odenheimer Bach ein direkter und guter hydraulischer Anschluss zu dem Festgesteinsaquifer gegeben, wodurch ein annähernd konstant großer Grundwasserfluss A_u gegeben ist. Es ist davon auszugehen, dass der Grundwasserfluss A_u im Winterhalbjahr geringfügig größer ist als im Sommerhalbjahr. Dieser Abflussanteil A_u gelangt im tiefen Untergrund über die Festgesteinspassage in den Vorfluter und ist durch wasserbauliche Maßnahmen an der Oberfläche des Eselsbett nicht einzustauen.

Insbesondere in den "trockenen" Monaten des Sommerhalbjahres wird der Abfluss ausschließlich grundwasserbürtig generiert. Solche Verhältnisse sind in den Monaten April und Juni gegeben, wo der Abfluss etwa $A_u = 20.000 \text{ m}^3/\text{Monat}$ groß ist. Im Verlaufe des Winterhalbjahres ist aufgrund des sich regenerierenden Grundwasserhaushaltes auch immer eine Steigerung des grundwasserbürtigen Abflusses A_u gegeben. Dieser wird auf einen mittleren winterhalbjährlichen Abfluss von $A_u = 25.000 \text{ m}^3/\text{Monat}$ eingeschätzt. In der Abbildung 7-1 sind die so hergeleiteten grundwasserbürtigen Abflussanteile A_u farblich gekennzeichnet.

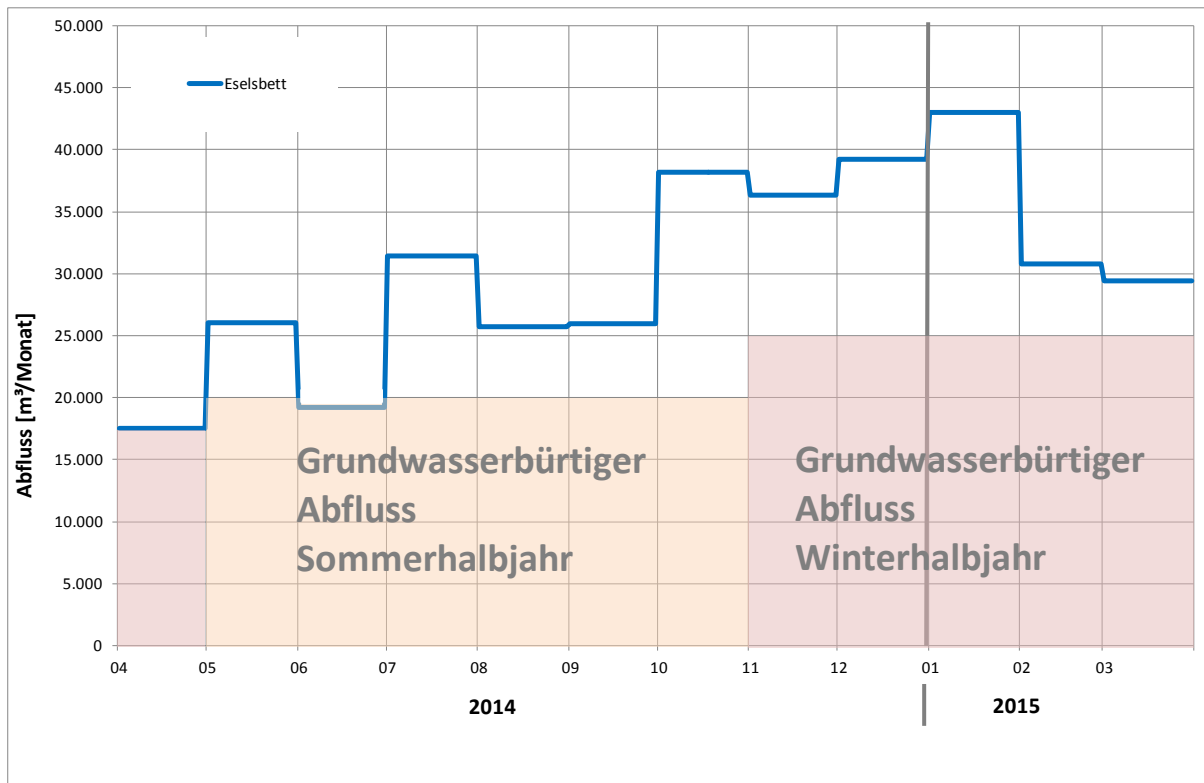


Abb. 7-1: Abtrennung des grundwasserbürtigen Abflussanteils A_u von dem Gesamtabfluss A_{Ges} im Eselsbett

Die verbleibenden Abflussanteile A_o und $A_{\text{Interflow}}$ können theoretisch durch wasserbauliche Maßnahmen im Eselsbett eingestaut werden.

7.2 Schwarzes Bruch

Das Schwarzes Bruch ist als eine Überlaufquelle einzustufen, wo nur in den Wasserüberschusszeiten des Winterhalbjahres ein großer Abfluss festzustellen ist. Ein grundwasserbürtiger Basisabfluss A_u ist hier nicht erkennbar (s.a. Abb. 4-3). Der Gesamtabfluss im Schwarzes Bruch setzt sich demnach aus den Abflussanteilen A_o und $A_{\text{Interflow}}$ zusammen. Dieser kann durch wasserbauliche Maßnahmen im Schwarzes Bruch in den Teilgebieten Nord und Südwest eingestaut werden.

7.3 Prognose zur Moorwasserstandsaufhöhung

In der Tab. 7-1 sind die prognostizierten Moorwasserstandsaufhöhungen sowie die für dessen Herleitung zugrunde gelegten Größen aufgeführt.

Im oberen Teil von Tab. 7-1 sind die Jahres- und Halbjahresabflüsse jeweils für das Gesamteinzugsgebiet von Eselsbett sowie Schwarzes Bruch Nord und Südwest aufgeführt. Im Gebiet Eselsbett ist das durch die geplanten wasserbaulichen Maßnahmen beeinflusste Gebiet (89.000 m^2 ; EZG_{Einstau}) kleiner als das über die Abflussmessstelle OW 1-3 erfasste Gesamteinzugsgebiet (119.854 m^2 ; EZG_{Gesamt}). Somit wird hier nur ein Teil des messtechnisch erfassten Abflusses A_o und $A_{\text{Interflow}}$ durch die wasserbaulichen Maßnahmen einzustauen sein. Gemäß dem Flächenanteil von EZG_{Einstau} an EZG_{Gesamt} sind es etwa 75 Prozent. Für das Eselsbett ergibt sich so ein potenzielles Einstauvolumen von ca. $75.000 \text{ m}^3/\text{a}$. Im Schwarzes Bruch sind es im Nordteil $150.698 \text{ m}^3/\text{a}$. Im Südwest-Teil wurde der Abfluss nur im Winterhalbjahr 2015 (Nov 2014 bis Apr 2015) vollständig erfasst, weshalb der Jahreswert von 38.024 m^3 unterschätzt ist und ein Halbjahreswert zum Sommerhalbjahr nicht angeführt ist.

Für die Prognose der Moorwasserstandsaufhöhungen als Folge des Einstaus der Gebietsabflüsse ist zunächst festzustellen, dass das eingestaute Wasser über die Zeit durch dynamische Prozesse wie Verdunstung, Durchsickerung und auch Überlauf in kurzen Zeiteinheiten mehr oder weniger aufgezehrt wird. Die größten Anteile werden durch Verdunstungseffekte, welche im Sommerhalbjahr intensiv über die Atmosphäre und die Vegetation einwirken, aufgezehrt. Ein wesentlich geringerer Anteil wird die Dammsysteme und Querriegel durchsickern. Im Winterhalbjahr werden insbesondere die Überlaufsysteme kurzzeitigen Wasserüberschuss den tiefer gelegenen Gebieten zuführen bzw. aus dem Gebiet ableiten. Die Versickerung in die Tiefe wird aufgrund der geohydraulischen Eigenschaften der den Torfkörper unterlagernden Hanglehmschicht vernachlässigbar gering sein.

Dieser dynamische Prozess von Wasseraufbrauch, -abfluss und -versickerung kann mit der vorhandenen Datenbasis nicht nachgebildet werden. Um eine Größenordnung für den Effekt der wasserbaulichen Maßnahmen auf die Moorwasserstände zu erhalten, werden hier mit dem Ansatz eines monatlichen Zeitfensters mit Wassereinstau und dessen Aufbrauch die Moorwasserstandsaufhöhungen differenziert nach Sommer- und Winterhalbjahr prognostiziert.

Die im Sommer- und Winterhalbjahr jeweils monatlich einstaubaren Wasservolumina sind in der Tab. 7-1 im Mittelteil unter Abfluss EZG_{Einstau} aufgeführt. In die Berechnung der Wasserstandsaufhöhung geht neben dem Wassereinstauvolumen und der einstauwirksamen Grundfläche noch die nutzbare Feldkapazität n_{Fk} ein.

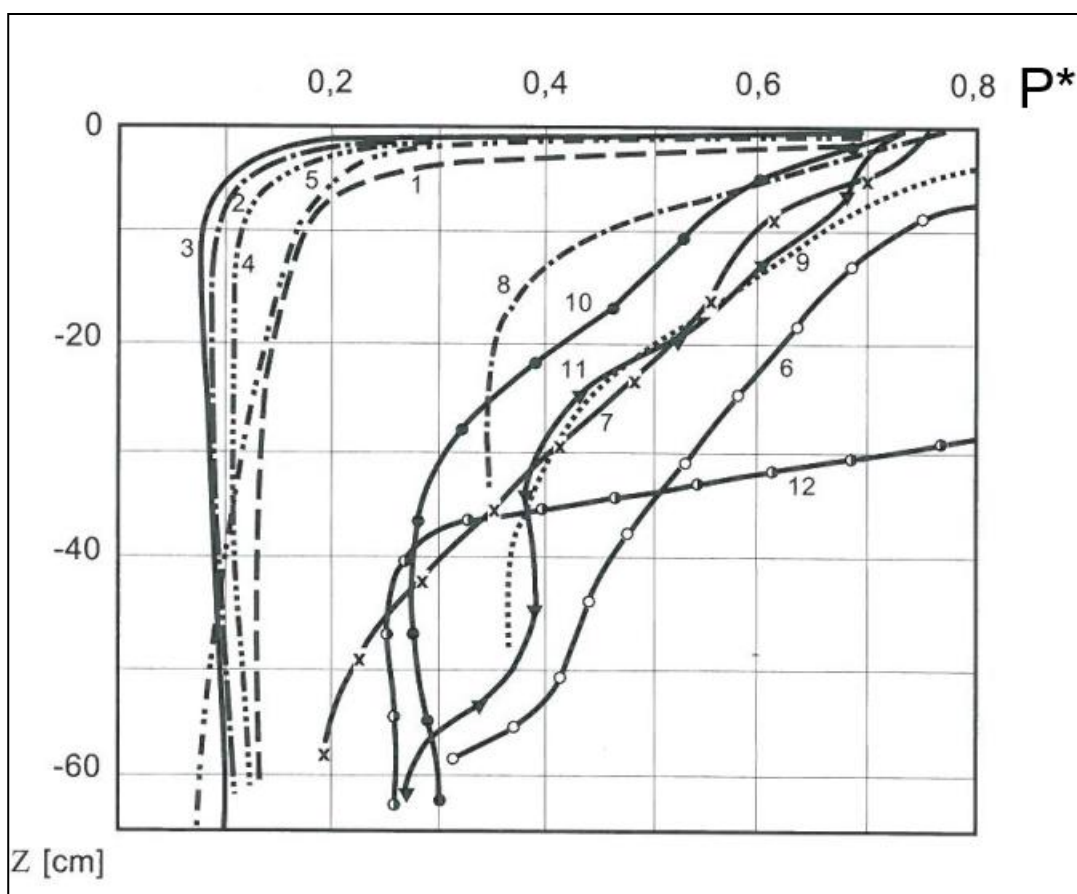


Abb. 7-2: Tiefenfunktion (Z) der entwässerbaren Porosität (P^*) für das Akrotelm, Kurven 6 bis 12: Werte verschiedener Hochmoorvegetationen (bzw. Torfarten); Kurven 1 bis 5: Seggentorfe (niedermoortypisch). Verändert nach IVANOV 1975 in SUCCOW & JOOSTEN 2001.

Nach IVANOV (1975) hat ein typischer Hochmoortorf bis in einer Tiefe von etwa 0,40 bis 0,60 m eine entwässerbare Porosität von etwa 30 bis 60 %. Das heißt, in dieser Größenordnung kann der Torf zeitnah Wasser aufnehmen als auch wieder abgeben, so z. B. an die Vegetation, direkt an die Atmosphäre oder gemäß eines Fließgradienten an einer Fließbewegung teilnehmen. Für die Prognoseberechnung ist eine mittlere nutzbare Feldkapazität von $n_{FK} = 0,45$ eingesetzt worden.

Parameter		Einheit	Eselsbett	Schwarzes Bruch Nord	Schwarzes Bruch Südwest
Abfluss EZG _{Gesamt}	A_{Ges}	[m ³ /a]	362.926	150.698	38.024
	A_u	[m ³ /a]	261.737	-	-
	A_o und $A_{Interflow}$	[m ³ /a]	101.190	150.698	38.024
	A_o und $A_{Interflow}$ Sommer	[m ³ /Halbjahr]	47.366	31.609	-
	A_o und $A_{Interflow}$ Winter	[m ³ /Halbjahr]	53.824	119.089	37.820
Maßnahmen Einstaufläche		[m ²]	89.000	231.971	74.853
Abfluss EZG _{Einstau}	A_o und $A_{Interflow}$ Sommer	[m ³ /Halbjahr]	35.172	31.609	-
	A_o und $A_{Interflow}$ Winter	[m ³ /Halbjahr]	39.968	119.089	37.820
	A_o und $A_{Interflow}$ Sommer Monatsmittel	[m ³ /Monat]	5.862	5.268	-
	A_o und $A_{Interflow}$ Winter Monatsmittel	[m ³ /Monat]	6.661	19.848	6.303
Nutzbare Feldkapazität		[Vol-%]	0,45	0,45	0,45
Mittlere Moorwasserstandsaufhöhung Sommerhalbjahr		[m]	0,15	0,05	-
Mittlere Moorwasserstandsaufhöhung Winterhalbjahr		[m]	0,17	0,19	0,19

Tab. 7-1: Herleitung der prognostizierten Moorwasserstandsanhebungen im Eselsbett und im Schwarzes Bruch.

Danach ergibt sich für das Eselsbett im Sommerhalbjahr bei einem mittleren monatlichen Einstauvolumen von ca. 5.900 m³ eine mittlere Moorwasserstandsaufhöhung von 0,15 m. Gemäß der rechnerisch und über Interpolationen ermittelten neuen Flurabstandsverhältnisse (Anlage 8) vergrößert sich die Fläche an "zutage tretendem Grundwasser". Für die Vegetationsentwicklung ist ein weitflächiger Überstau zu vermeiden. Dies ist zu erreichen über das wasserstandsregulierende Steuerungssystem an den Dammkörpern. Im Winterhalbjahr werden im Monatsmittel ca. 6.700 m³ eingestaut, was zu einer mittleren Moorwasserstandsaufhöhung von 0,17 m führt.

Für das Schwarzes Bruch, wo der Gebietsabfluss im Sommerhalbjahr mehr oder weniger versiegt, wird für das Gebiet Nord eine sommerhalbjährliche mittlere Moorwasserstandsanhhebung von 0,05 m prognostiziert. Im Winterhalbjahr sind es hier und auch im Gebiet Südwest jeweils 0,19 m. Wie im Eselsbett vergrößern sich auch im Schwarzes Bruch die Flächen mit "zutage tretendem Grundwasser" (s. Anlage 9), dies insbesondere im südlichen Teilgebiet. Dort kann über das wasserstandsregulierende Steuerungssystem an dem Dammsystem, welches hier am Südwestrand geplant ist, den unerwünschten Überstauverhältnissen entgegengewirkt werden.

Wie u.a. aus den Abflussbilanzen abzulesen ist (s. Abb. 4-3), ist in beiden Gebieten im Winterhalbjahr ein deutlicher Wasserüberschuss gegeben. Im Sommerhalbjahr erfährt der Wasserspeicher eine deutliche Zehrung, was durch die geplanten wasserbaulichen Maßnahmen deutlich reduziert werden soll.

In den Anlagen 8 und 9 sind zum einen die Bereiche, wo sich Moorwasserstandsanstiege einstellen werden, gekennzeichnet und zum anderen die Flurabstände für den Neuzustand dargestellt. Die prognostizierten Flurabstände resultieren aus der Verschneidung der Flurabstands-Verteilungen im August 2014 (s. Anl. 4-1a, 4-2) mit den prognostizierten sommerhalbjährlichen Wasserstandsaufhöhungen gemäß der Angaben in Tab. 7-1.

Im Eselsbett ist für das Sommerhalbjahr ein mittlerer Moorwasserstandsanstieg von 0,15 m prognostiziert. Aufgrund des vergleichsweise großen Geländegefälles im Eselsbett werden sich die Moorwasserstandsanstiege in den Zustromgebieten der Dammbauwerke, Grabenkammerungen und Dichtwände mit einer oberstromigen Reichweite von etwa 30 bis 50 m einstellen. Oberstromseitig werden sich an den Staubaubauwerken die größten Moorwasserstandsanstiege einstellen ($> 0,15$ m). Nach der Prognose werden sich die Flächen mit "zutage tretendem Grundwasser" deutlich vergrößern (s. Anl. 8). Die seitliche Wirkreichweite an den Bauwerken wird aufgrund der geringen Wasserdurchlässigkeiten mit etwa 10 bis 15 m angesetzt.

Im Schwarzes Bruch war nur für das Teilgebiet Nord eine sommerhalbjährliche Wasserbilanz und entsprechend nur hierfür eine Moorwasserstandsaufhöhung zu prognostizieren, dies in der Größe von 0,05 m (s. Tab. 7-1). Es ist davon auszugehen, dass das Teilgebiet Süd ein ähnliches Systemverhalten aufweist und auch hier für das Sommerhalbjahr ein mittlerer Moorwasserstandsanstieg von 0,05 m angesetzt werden kann. Mit dieser Annahme ist die Prognose der Flurabstände im Schwarzes Bruch hergeleitet worden. Aufgrund des geringen (Teilgebiet Süd) bis mittleren Geländegefälles (Teilgebiet Nord) kann für die beiden Teilgebiete von einer weitflächigen Wirkung der wasserbaulichen Maßnahmen ausgegangen werden. Der prognostizierte sommerhalbjährliche mittlere Moorwasserstandsanstieg von 0,05 m führt zu der in Anlage 9 dargestellten Flurabstandsverteilung.

7.4 Auswirkungen auf konkurrierende Nutzungen

Für das Eselsbett ist aufgrund der geographischen und hydrologischen Gegebenheiten, der räumlichen Anordnung der geplanten Maßnahmen sowie einer moderaten mittleren Wasserstandsaufhöhung von 0,15 bis 0,17 m im Sommer- (s. Anlage 8) bzw. Winterhalbjahr ein Einfluß auf die benachbarten Grundstücke auszuschließen.

Gemäß der Prognose werden sich im Schwarzes Bruch im Winterhalbjahr mittlere Wasserstandsaufhöhungen von 0,19 einstellen. Die für das Sommerhalbjahr zu erwartenden Wasserstandsaufhöhungen werden deutlich geringer sein.

Wegen der fehlenden sommerhalbjährlichen Abflusswerte zu dem Südwestteil kann nur für den Nordteil die Wasserstandsaufhöhung prognostiziert werden. Diese beträgt hier im Sommerhalbjahr im Mittel 0,05 m (s. Anlage 9). Die größten Wasserstandsaufhöhungen werden sich hier nach der Kammerung entlang der nach Nordwesten führenden Gräben einstellen. In Richtung auf die Gebietsränder im Süden, Osten und Norden werden sich die Wasserstandsaufhöhungen deutlich abschwächen bzw. nicht mehr nachweisbar sein. Am Westrand werden die Wasserstandsverhältnisse durch den hier nach Norden verlaufenden Graben auf Istzustand-Niveau stabilisiert. Somit sind im Nordteil des Schwarzes Bruch auf den angrenzenden Grundstücken keine Beeinträchtigungen durch Wasserstandsaufhöhungen zu erwarten.

Wie im Nordteil werden sich auch im Südwestteil des Schwarzes Bruch nach der Kammerung des hier zentral geführten und nach Norden verlaufenden Grabens die größten Wasserstandsaufhöhungen einstellen. In Richtung auf die Gebietsränder werden sich auch hier die Wasserstandsaufhöhungen vermindern bzw. nicht mehr nachweisbar sein. Entlang der West- und Ostgrenze schließen in diesem Teilgebiet Höhenrücken an das Schwarzes Bruch an. Entsprechend werden auf den dort angrenzenden Grundstücken u. a. auch wegen der vergleichsweise großen Grundwasserflurabstände keine Beeinträchtigungen durch Wasserstandsaufhöhungen auftreten. Am Südwestrand sind der Neubau eines Moordamms sowie die Instandsetzung einer provisorischen Dichtungswand geplant. Aufgrund des hier unterhalb des Moordammes D1 einsetzenden und nach Westen verlaufenden Taleinschnittes werden sich hier die Wasserstandsaufhöhungen überwiegend östlich des Moordammes D1 einstellen. Die prognostizierten Wasserstandsaufhöhungen von etwa 0,05 m reichen hier bis an die Südgrenze des im Landeseigentum befindlichen Flurstückes 37 heran (s. Anlage 9). Eine Beeinträchtigung von weiter südlich gelegenen Grundstücken ist nicht anzunehmen.

Auf den Grundstücken, die im Schwarzes Bruch-Teilgebiet Südwest am Nordrand angrenzen, sind auch keine Beeinträchtigungen durch Wasserstandsaufhöhungen zu erwarten. So verläuft der für eine Kammerung (GK5) vorgesehene Graben etwa 75 m weiter südlich zum Gebietsrand. Weiterhin wird durch den weiter nördlich auf dem

Flurstück 114 in Grundwasserfließrichtung angelegten Teich VII durch die Ausspiegelung des dort freigelegten Grundwasserkörpers oberstromseitig bzw. südseitig eine Grundwasserstandsabsenkung bewirkt. Und unterhalb der Kammerung GK4.1 sind in dem Odenheimer Bach keine weiteren wasserbaulichen Aufstaumaßnahmen geplant, so dass dessen Vorflutwirkung auf der Höhe von Flurstück 114 und südlich davon in gleicher Weise wie im Istzustand gegeben sein wird.

Der Eigentümer der Grundstücke 105 und 114, Flur 10, Gemarkung Lichtenau hat die bis zum 28.02.2022 befristete Erlaubnis, bei einer ausreichenden Wasserführung aus dem Odenheimer Bach bis zu 10 l/s (36 m³/h) an Wasser zu entnehmen und zum Füllen des Teiches I (Flurstück 105) zu gebrauchen. Über den gleichen Bescheid besteht die Erlaubnis, aus einem Schachtbrunnen auf dem Flurstück 114 für die Frischwasserversorgung der Ferienhäuser bis zu 1,25 l/s (10 m³/h) zu nutzen.

Eine Beeinträchtigung dieser Wasserrechte über die geplanten wasserbaulichen Maßnahmen ist nicht anzunehmen. Die Wasserführung des Odenheimer Baches wird sich durch die Umsetzung der wasserbaulichen Maßnahmen nicht signifikant verringern. So werden sich die Gebietswasserstände im ersten Winterhalbjahr nach der Maßnahmenumsetzung in weiten Teilen auf ein höheres Niveau eingestellt haben und dann nach wie vor Überschusswasser über den Odenheimer Bach aus dem Gebiet abfließen. Im Winterhalbjahr beträgt der mittlere Abfluss im Istzustand etwa 27,2 m³/h bzw. 7,6 l/s (s. Tab. 7-1; 119.089 m³/Winterhalbjahr) und liegt damit schon deutlich unter der wasserrechtlichen Erlaubnis für die Entnahme aus dem Odenheimer Bach in Höhe von bis zu 36 m³/h bzw. 10 l/s. Im Sommerhalbjahr führt der Odenheimer Bach auf diesem Abschnitt über weite Zeiträume kein oder nur sehr wenig Wasser. Der mittlere Abfluss beträgt dann etwa 7,3 m³/h (2,0 l/s). Über etwa 4 Monate des Sommerhalbjahres sind es weniger als 1,0 m³/h (0,3 l/s) (s. Abb. 4-3). Die Wasserentnahme aus dem Odenheimer Bach sollte dann gemäß der wasserrechtlichen Bestimmung "nur bei ausreichender Wasserführung" nicht erlaubt sein.

Die wasserrechtliche Erlaubnis der Grundwasserentnahme aus dem Schachtbrunnen über bis zu 1,25 l/s wird durch die geplanten wasserbaulichen Maßnahmen sowohl quantitativ als auch qualitativ nicht beeinträchtigt werden.

8. Wasserwirtschaftliches Monitoringkonzept

Um die Wirkung der geplanten Maßnahmen zur Aufbesserung der Wasserhaushalte im Sinne einer Erfolgskontrolle zu erfassen, ist ein wasserwirtschaftliches Monitoring vorgesehen. Gleichzeitig dient das Monitoring der Beweissicherung in Hinblick auf mögliche Nutzungsbeeinträchtigungen auf angrenzenden Grundstücken. In den Projektgebieten sind bereits Messnetze eingerichtet (s. Anlagen 5 und 6; Abb. 8-1). Wesentliche Elemente dieses Messnetzes sind im Frühjahr 2014 in den Teilgebieten für die Ermittlung der aktuellen Systemzustände und Wasserhaushalte eingerichtet worden. Hierbei handelt es sich um Grundwassermessstellen und Abflussmessstellen. Der Großteil der Messstellen ist mit Datenloggern zur quasikontinuierlichen Wasserstandserfassung ausgestattet. An einer kleineren Anzahl an Messstellen werden die Messwerte im Handbetrieb erfasst.

Am Eselsbett werden mit dem Messnetz die oberflächennahen Moorwasserstandsverhältnisse als auch die Grundwasserstandsverhältnisse in dem tieferen Festgesteinsaquifer erfasst. In den weiteren Teilgebieten Schwarzes Bruch und Sauerbachtal dient das Messnetz nur zur Erfassung der oberflächennahen Moorwasserstandsverhältnisse.

Zur Ermittlung des Oberflächenabflusses sind im Eselsbett und Schwarzes Bruch Thomson-Überfallwehre eingerichtet. An einem Standort im Bülheimer Bach wird der Gesamtabfluss aus dem Gebiet Eselsbett über die Kombination von Messflügel-Abflussmessungen und einem Lattenpegel erfasst (OW 1-3).

Seit dem April 2014 erfolgt die messtechnische Ermittlung der wasserwirtschaftlichen Systemverhältnisse. Bis jetzt ist ein Zeitraum von etwa zwei Jahren erfasst worden. Bis zur Umsetzung der wasserbaulichen Maßnahmen werden noch einige Monate hinzukommen, so dass dann eine gute Grundlage für die Herleitung der Ist-Zustandsverhältnisse gegeben sein wird.

Die aktuelle Messnetzanordnung bietet eine gute Voraussetzung für die messtechnische Erfassung von Systemveränderungen als Folge der wasserbaulichen Maßnahmen. Änderungsbedarf bzw. Ergänzungsbedarf in Hinblick auf das bestehende Messnetz ist nach dem aktuellen Kenntnisstand nicht gegeben. Dies gilt es aber regelmäßig zu überprüfen. Gegebenenfalls ist das Monitoring dann noch zu optimieren.

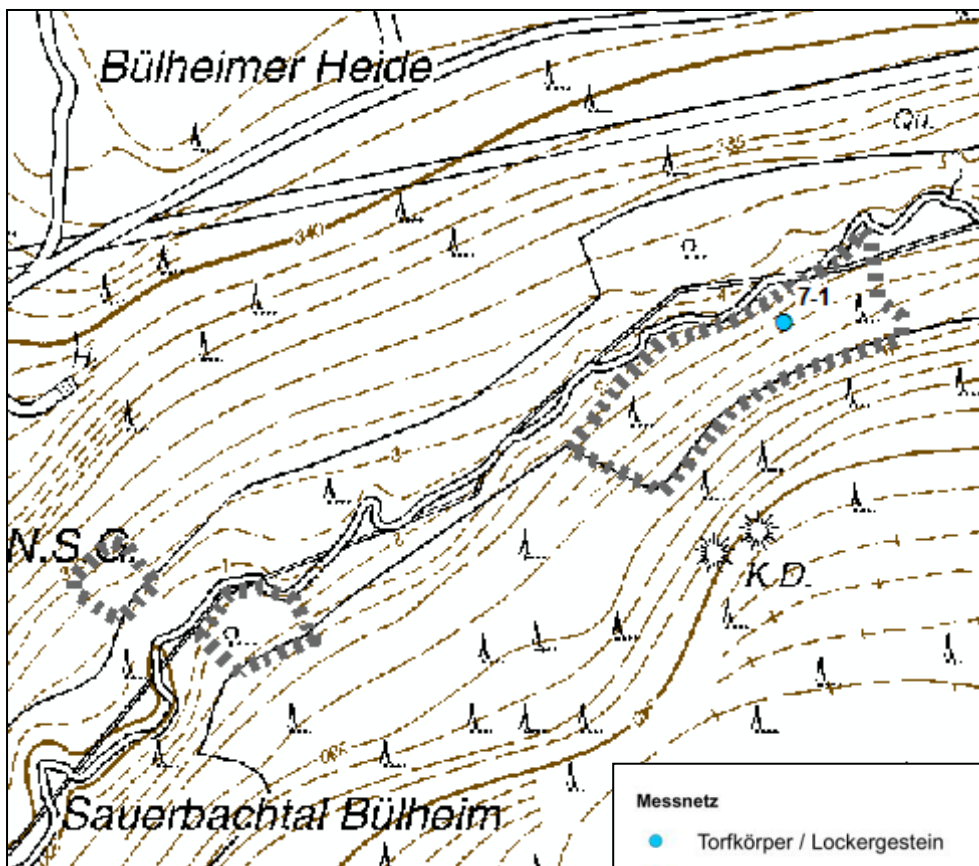
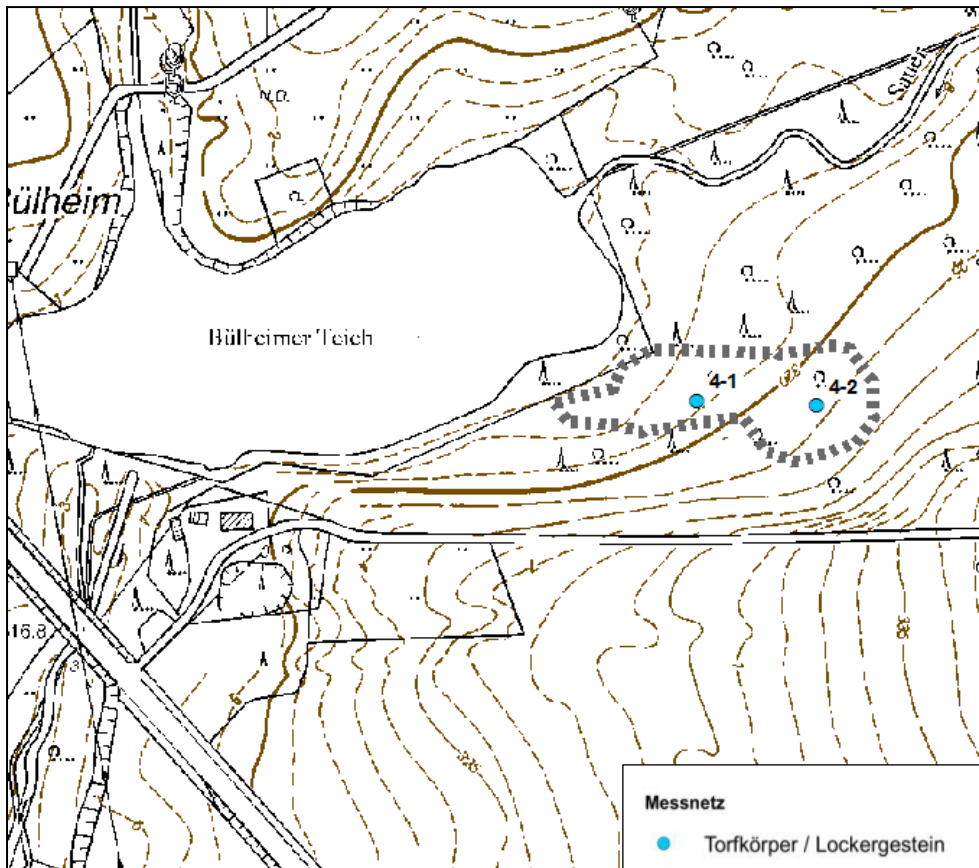


Abb. 8-1: Messnetz-Lageplan zu den Teilgebieten des Sauerbachtals.

Grundwasser-messstelle	Teilgebiet	Grundwas-sersystem	Messart	Messintervall
GW 1-1	Eselsbett	Oberflächennah	Handmessung	Monatlich
GW 1-2	Eselsbett	Oberflächennah	Datenlogger	Täglich
GW 1-3	Eselsbett	Oberflächennah	Datenlogger	Täglich
GW 1-4	Eselsbett	Oberflächennah	Datenlogger	Täglich
GW 1-5	Eselsbett	Oberflächennah	Datenlogger	Täglich
GW 1-6	Eselsbett	Oberflächennah	Datenlogger	Täglich
GW 1-7	Eselsbett	Oberflächennah	Datenlogger	Täglich
GW 1-8	Eselsbett	Oberflächennah	Datenlogger	Täglich
GW 1-9	Eselsbett	Oberflächennah	Datenlogger	Täglich
GW 2-1	Schwarzes Bruch	Oberflächennah	Datenlogger	Täglich
GW 2-2	Schwarzes Bruch	Oberflächennah	Datenlogger	Täglich
GW 2-3	Schwarzes Bruch	Oberflächennah	Datenlogger	Täglich
GW 2-4	Schwarzes Bruch	Oberflächennah	Datenlogger	Täglich
GW 2-5	Schwarzes Bruch	Oberflächennah	Datenlogger	Täglich
GW 2-6	Schwarzes Bruch	Oberflächennah	Datenlogger	Täglich
GW 3-1	Schwarzes Bruch	Oberflächennah	Datenlogger	Täglich
GW 3-2	Schwarzes Bruch	Oberflächennah	Datenlogger	Täglich
GW 3-3	Schwarzes Bruch	Oberflächennah	Datenlogger	Täglich
GW 3-4	Schwarzes Bruch	Oberflächennah	Datenlogger	Täglich
GW 3-5	Schwarzes Bruch	Oberflächennah	Datenlogger	Täglich
GW 3-6	Schwarzes Bruch	Oberflächennah	Datenlogger	Täglich
GW 3-7	Schwarzes Bruch	Oberflächennah	Datenlogger	Täglich
GW 3-8	Schwarzes Bruch	Oberflächennah	Datenlogger	Täglich
GW 4-1	Sauerbachtal	Oberflächennah	Datenlogger	Täglich
GW 4-2	Sauerbachtal	Oberflächennah	Datenlogger	Täglich
GW 7-1	Sauerbachtal	Oberflächennah	Datenlogger	Täglich
T1-1	Eselsbett	Tief	Handablesung	3-monatlich
T1-2	Eselsbett	Tief	Handablesung	3-monatlich
T1-3	Eselsbett	Tief	Handablesung	3-monatlich
T1-4	Eselsbett	Tief	Handablesung	3-monatlich
T1-5	Eselsbett	Tief	Handablesung	3-monatlich
T1-7	Eselsbett	Tief	Handablesung	3-monatlich
T1-8	Eselsbett	Tief	Handablesung	3-monatlich
021190707	Eselsbett	Tief	Handablesung	3-monatlich
021190800	Eselsbett	Tief	Handablesung	3-monatlich

Tab. 8-1: Monitoring-Messnetz Moorwasser und Grundwasser mit der Empfehlung von Messintervallen

Oberflächenwassermessstelle	Teilgebiet	Abflussmesssystem	Messart	Messintervall
OW 1-1	Eselsbett	Thomson-Wehr	Datenlogger	Stündlich
OW 1-2a	Eselsbett	Thomson-Wehr	Handablesung	Monatlich
OW 1-2b	Eselsbett	Thomson-Wehr	Datenlogger	Stündlich
OW 1-3	Eselsbett	Lattenpegel	Datenlogger	Stündlich
OW 2-1	Schwarzes Bruch Nord	Thomson-Wehr	Datenlogger	Stündlich
OW 3-1	Schwarzes Bruch Süd	Thomson-Wehr	Datenlogger	Stündlich

Tab. 8-2: Monitoring-Messnetz Oberflächenwasser mit der Empfehlung von Messintervallen

Für den Messnetzbetrieb werden die in den Tabellen 8-1 und 8-2 aufgeführten Messintervalle empfohlen.

Die Datenlogger in den Moorwasserstandspegeln sind auf eine tägliche Aufzeichnung des Wasserstandes einzustellen. Da der Oberflächenabfluss vergleichsweise schnell auf Niederschlagsereignisse reagiert, sind die Datenlogger der Abflussmessstellen auf eine deutlich höhere Taktung einzustellen. Empfohlen wird eine stündliche Messwertaufzeichnung. Die Auslesung der Datenlogger sollte viertel- bis maximal halbjährlich vorgesehen werden. So werden Fehlfunktionen oder Systemausfälle noch relativ zeitnah erkannt.

Aufgrund der vielfältigen Einflüsse an den Abflussmessstellen sind dort monatliche Betriebs- und Sichtkontrollen vorzusehen. Dies betrifft sowohl die Thomson-Messwehre, wo u. a. der Abflussquerschnitt auf einen freien Durchgang hin zu kontrollieren ist, als auch die Lattenpegelmessstelle OW 1-3, wo im Ober- und Unterwasser ein möglichst unverändertes Fließbett mit laminarem Fließen zu gewährleisten ist. Im Zuge der monatlichen Kontrolle ist auch an der handbetriebenen Moorwasserstandsmessstelle GW 1-1 eine Ablesung vorzunehmen.

Der Handbetrieb an den Festgestein-Grundwasserstellen sieht ein 3-monatliches Ableseintervall vor.

Die Monitoring-Messdaten sollten jährlich aufbereitet und ausgewertet werden. Hierbei sind auch die Klimadaten der nächstgelegenen Klimastation hinzuzuziehen. Die Zeitreihendaten sind zunächst auf Plausibilität bzw. auf systematische und zufällige Messfehler hin zu überprüfen. Weiterhin sind die Messdaten mit den Feldbeobachtungen abzugleichen. Bei Widersprüchen sind die Ursachen zeitnah in Erfahrung zu bringen. Werden offensichtliche Systemveränderungen von dem Messnetz nicht hinreichend bzw. nicht abgebildet, ist eine mögliche Veränderung bzw. Ergänzung des Messnetzes in Betracht zu ziehen.

9. Zusammenfassung

Im Auftrag der Biologische Station Kreis Paderborn - Senne e.V. und im Rahmen des EU-LIFE-Projektes "Eggemoore - Schutz und Entwicklung der Moor-Lebensräume im südlichen Eggegebirge" hat das Planungsbüro ALW - Prof. Dr. Kaiser ein Schutz- und Entwicklungskonzept auszuarbeiten. Den Hydrogeologischen Fachbeitrag, der hierfür eine wesentliche Grundlage ist, hat der Subunternehmer Ingenieurgesellschaft Heidt + Peters mbH (H+P) erstellt.

Die zu bearbeitenden Moore befinden sich in der Nähe der Ortschaft Lichtenau in den Gebieten Eselsbett (11 ha), Schwarzes Bruch und im Sauerbachtal. Das Gebiet Schwarzes Bruch untergliedert sich in einen 8 ha großen Nord- und einen 22 ha großen Südteil. Die Moore im Sauerbachtal verteilen sich auf fünf Teilgebiete mit Größen von 0,09 bis 0,63 ha.

Die Bearbeitungsgebiete befinden sich auf der westlichen Hangseite des bis auf etwa 460 mNN aufragenden und in Nord-Süd-Richtung verlaufenden Eggegebirges und liegen auf Höhenniveaus von etwa 320 mNN (Eselsbett) bis 340 mNN (Schwarzes Bruch). In dem Sauerbachtal, wo die Sauer entspringt, befinden sich die fünf Teilgebiete in der Talsenke links- und rechtseitig des Bachlaufes. Entlang der fünf Teilgebiete fällt das Talsenkenniveau in westlicher Richtung von etwa 327 auf 317 m ab. Nach der Querung der B68 verläuft die Sauer nach Nordwesten in Richtung Lichtenau. Das Schwarze Bruch ist morphologisch gesehen eine Nord-Süd-ausgerichtete Senkenstruktur. Deren südlichster Teilabschnitt führt sein Überschusswasser über einen Graben ab, der nach Südwesten zur Sauer führt. Das mittlere und nördliche Teilgebiet vom Schwarzen Bruch werden nach Norden über ein zum Odenheimer Bach führendes Grabensystem entwässert. Der Odenheimer Bach entspringt unmittelbar östlich des Eselsbetts, ist der Hauptvorfluter für dieses Gebiet und führt nach Westen. In Lichtenau mündet der Odenheimer Bach in die Sauer.

Unterhalb einer nur geringmächtigen Lockersediment-Bedeckung steht im Bearbeitungsgebiet flächendeckend Festgestein der Kreide-Zeit an. Die in Form einer Bruchschollentektonik verstellten Festgesteinsschichten lagern mehr oder weniger horizontal bzw. fallen im Bereich des Eselsbett nach Westen ein. Im Einzugsbereich der Bearbeitungsgebiete befinden sich die Formationen des Gault- und Osningsandsteins. In diesen ist ein Kluft-Porensystem ausgebildet, welches gute Wasserwegsamkeiten (Klüfte) als auch gute Speichereigenschaften (Porenraum) aufweist. Die auf dem Festgestein auflagernde Lockersedimentdecke ist insbesondere in den Talbereichen oftmals mehr als 2 m mächtig ausgebildet. Es handelt sich hierbei um Auenlehm, Schwemmlehm, Fließerde und Torf.

Das Liegende der Moore besteht in der Regel aus nur gering wasserdurchlässigem Sediment in Form von Schluff, Fließerde oder stark verwittertem Festgestein, wo hier dann eine hydraulische Entkoppelung zwischen dem Moorwasserkörper und dem unterlagernden Festgestein-Grundwasserkörper besteht.

In den Mooren Eselsbett und Schwarzes Bruch ist in der Vergangenheit Torf abgebaut worden. Heute ist in dem 116.000 m² großen Eselsbett noch auf 70.000 m² Moor ausgebildet. Bei einer maximal nachgewiesenen Torfmächtigkeit von 2,09 m beträgt diese im Mittel 0,75 m. Im dem 84.000 m² großen Schwarzes Bruch Teilgebiet Nord sind auf 5.400 m² Moor ausgebildet, im Teilgebiet Süd ist das Moor auf 143.000 m² von 223.000 m² verbreitet. Die mittleren und größten Torfmächtigkeiten betragen hier 0,37 m / 0,69 m (Teilgebiet Nord) bzw. 0,59 m / 1,04 m (Teilgebiet Süd). In der Regel lagert unter einer etwa 0,10 bis 0,20 m mächtigen Weißtorfauflage stark zersetzter Torf.

Im Betrachtungsjahr (April 2014 bis März 2015) sind im Bearbeitungsgebiet 878 mm an Niederschlag gefallen. Der Sommerniederschlag ist dabei mit 503 mm um 34 % größer als der Winterniederschlag (375 mm). Bei einem 11-jährigen Jahresmittelwert von 851 mm (Station Sudheim) kann das Betrachtungsjahr als ein mittleres Wasserwirtschaftsjahr eingestuft werden.

Aus den Ganglinien zu den im Torfkörper eingerichteten Grundwassermessstellen (GWMS) ist abzuleiten, dass der Moorwasserhaushalt im Jahresgang bei Schwankungsbandbreiten in der Größenordnung von etwa 0,10 bis 0,30 m relativ ausgeglichen ist. Die im August bis September festzustellende Sommerdepression ist nur an einigen GWMS ausgeprägt.

Im Eselsbett fällt die Moorwasseroberfläche entsprechend der vergleichsweise großen Hangneigung mit etwa 2,8 % relativ steil in Richtung auf den Vorfluter Odenheimer Bach ein. Der mittlere Flurabstand beträgt im August 0,40 m. Im Schwarzes Bruch liegen die mittleren Flurabstände bei 0,39 m (Nordteil) bzw. 0,31 m (Südteil). Im Südteil ist eine annähernd in West-Ost-Richtung verlaufende Grundwasserscheide ausgebildet. Die Nullstromlinie verläuft hier auf etwa 341,60 bis 341,70 mNN. Das Gebiet nördlich der Wasserscheide entwässert zum Odenheimer Bach. Der Südteil entwässert zur Sauer. Im Eselsbett und Schwarzes Bruch sind kleinräumig negative Flurabstände ausgebildet, was im Feld durch Vernässungen angezeigt ist. Die Moorwasserflächen in den Teilgebieten des Sauerbachtals verlaufen ganzjährig ungefähr auf Geländeniveau.

Im weiteren Bereich des Eselsbets ist für eine bis Ende der 1980er Jahre betriebene Trinkwassergewinnung im Festgesteinsaquifer ein Netz an GWMS eingerichtet worden. Ergänzt um eine weitere GWMS im Rahmen dieses Projektes (T1-3) konnte so in diesem Gebiet die Festgestein-Grundwasseroberfläche ermittelt werden. Deren Flurabstand ist in weiten Teilen des Eselsbets deutlich größer als 1,6 m. Nur im Nahbereich des Odenheimer Baches treten Flurabstände von 0,0 bis 0,2 m auf, wonach hier im Eselsbett "tiefes" Grundwasser in den Torfkörper aufsteigen kann.

Die Quellschüttung am Fuße des Eselsbets ist relativ stabil und liegt ganzjährig in der Bandbreite von 10.000 bis 43.000 m³/Monat. Hier exfiltriert offensichtlich Grundwasser aus dem nach Osten bis auf 417 mNN aufragenden Festgesteinsaquifer. Der Abfluss aus dem Gebiet Schwarzes Bruch zeigt dagegen eine andere Charakteristik. Im Sommerhalbjahr vermindert sich hier der Abfluss deutlich bzw. geht auf Null zurück. Danach dürfte dieses Moor überwiegend von Oberflächenwasser und Interflow gespeist werden. Im Sommerhalbjahr reduzieren sich diese Zuflusskomponenten deutlich und dienen dann überwiegend der Kompensation von Verdunstungsverlusten im Moor. Erst im Winterhalbjahr wird dann wieder ein deutlicher Wasserüberschuss generiert, der über das Grabensystem aus der Moorsenke abfließt. Die mittlere Gebietsabflussspende des Eselsbets liegt bei 9,9 l/(s*km²), für das nach Norden entwässernde Teilgebiet des Schwarzen Bruches sind es 4,2 l/(s*km²). Die Abflussmessungen zum Eselsbett und Schwarzes Bruch zeigen, dass in Nassperioden im Sommerhalbjahr der Abfluss aus den Mooregebieten relativ schnell ansteigt. Dies ist ein Hinweis auf ein unnatürliches und unzureichendes Wasserspeichervermögen der Moore, was verursacht ist durch eine gestörte Torfkörperstruktur, einhergehend mit einem noch wirksamen Entwässerungssystem. Zu den im Sauerbachtal gelegenen Moorstandorten konnten keine Abflussmessungen durchgeführt werden. Es ist aber davon auszugehen, dass diese Moorstandorte aufgrund ihres ungestörten Torfkörpers funktionale und natürliche Systeme sind.

Eine wirksame Maßnahme zur Aufbesserung bzw. Stabilisierung der Wasserhaushalte in den Mooren Eselsbett und Schwarzes Bruch besteht in der großräumigen Einrichtung von Dammsystemen, die quer zum Geländegefälle bzw. zur Fließrichtung verlaufen und als hydraulische Barrieren wirken. Örtliche Rinnen- und Muldenstrukturen werden mit kleinräumigen Dammsystemen bzw. Spund-/Dichtungswandsystemen ausgestattet.

Ergänzend werden in dem rudimentären Grabensystem Kammerungen eingerichtet. So wird dieses hydraulisch unwirksam gemacht. Der Abstand der Kammerungen zueinander richtet sich nach dem jeweiligen Geländegefälle.

Der wasserstauende Kern der Dammkörper wird auf etwa 0,30 m ü. GOK ausgeführt. Zum Schutz vor Erosion und Zersetzung wird der Dammkern noch mit einer etwa 0,10 m mächtigen Schicht aus Vegetationsmaterial abgedeckt. Durch die bevorzugte hangseitige Torfentnahme werden Offenwasserflächen geschaffen. Reicht das örtliche Torfvorkommen nicht aus, ist Torf aus anderen Geländebereichen anzufahren. Die Funktion der grundwasserstauenden mineralischen Basis muss erhalten bleiben. Um ein Überströmen der Dämme und damit deren Erosion zu verhindern, werden regulierbare Rohrsysteme in die Dämme eingebaut.

In den kleinteiligen Hang- und Quellmooren im Sauerbachtal sind bei den gegebenen Geländestrukturen keine wasserbaulichen Maßnahmen umzusetzen. Mit anderen Maßnahmen werden hier die Wasserhaushaltsverhältnisse und damit auch das Entwicklungspotential der Hang- bzw. Quellmoore verbessert.

Mögliche Beeinträchtigungen von Nutzungen auf den an die Maßnahmegebiete angrenzenden Grundstücken sind nicht zu erwarten. Die wasserrechtlichen Erlaubnisse auf Entnahme von Wasser aus dem Oberlauf des Odenheimer Baches und von Grundwasser über einen Brunnen auf dem Flurstück 114 werden ebenfalls durch die Umsetzung der wasserbaulichen Maßnahmen nicht beeinträchtigt.

Im Sinne einer Erfolgskontrolle sowie für die Beweissicherung in Hinblick auf mögliche Beeinträchtigungen von angrenzenden Grundstücken und Nutzungen sind die wasserbaulichen Maßnahmen mit einem wasserwirtschaftlichen Monitoring zu begleiten. Als Grundlage hierfür dient das bestehende Messnetz. Anhand der prognostizierten Maßnahmenwirkungen ist zunächst festzustellen, dass das jetzige Monitoring zielführend ist für die meßtechnische Erfassung des Neuzustandes. Dies gilt es aber regelmäßig zu überprüfen. Gegebenenfalls ist das Monitoring dann noch zu optimieren.

10. Quellenverzeichnis

AMT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND NATUR DES KANTONS BERN (2013): Bericht 2012, Sonderdruck aus den Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern, Neue Folge, Band 70.

BAUDIREKTION KANTON ZÜRICH (Hrsg.) (2009): Regeneration von Hochmooren im Kanton Zürich, 23 S.

BUNDESAMT FÜR UMWELT - BAFU (2009): Regeneration von Hochmooren - Grundlagen und technische Maßnahmen, 96 S.; Bern

FRIEDLEIN, V. (2004): Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1 : 25.000 Blatt GK4319 Lichtenau.- 136 S., 10 Abb., 9 Tab., 2 Taf.; Krefeld.

GROSVERNIER, PH. UND STAUBLI, P. (Hrsg.) (2009): Regeneration von Hochmooren, Grundlagen und technische Maßnahmen, Umwelt-Vollzug Nr. 0918, Bundesamt für Umwelt Bern, 96 S.

HÖMBERG, A. (2015): Nutzungsgeschichte der Moore Eselsbett und Schwarzes Bruch in der südlichen Egge bei Lichtenau.- 38 S., 22 Abb.; Paderborn.

IVANOV, K. E. (1975): Vodoobmen v bolotnych landšaftach. (Wasseraustausch in Moorlandschaften). – 280 pp., Gidrometeoizdat, Leningrad.

KOCH, M., MICHEL, G. (1984): Hydrogeologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1: 50.000 Blatt L 4318 Paderborn.- 20 S., 1 Tab; Krefeld.

LUGON, A., PEARSON, S., MATTHEY, Y. UND GROSVERNIER, PH. (1998): Technische Maßnahmen zur Regeneration von Hochmooren, Vollzug Umwelt. Bern, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft.

NATUR- UND UMWELTSCHUTZ-AKADEMIE DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN (2008): Regeneration des Großen Torfmoores – NUA-Heft Nr. 23, 122 S.; Detmold

NZO GMBH (2010): Untersuchungen zum Wasserhaushalt im Moorbereich des NSG Eselsbett und Erarbeitung von Vorschlägen zur Optimierung.- 36 S., 30 Abb.; Bielefeld

SUCCOW, MICHAEL UND JOOSTEN, HANS (2001): Landschaftsökologische Moorkunde, 2. völlig neu bearbeitete Aufl. – Stuttgart.